L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO

CIELO E TERRA

Da quando Galileo Galilei ha visto l'ombra delle montagne lunari, gli oggetti celesti e quelli terrestri non appartengono piu' per la scienza a due mondi separati. Gli astronomi difatti oggi studiano i processi che si svolgono nelle stelle nei termini della stessa chimica e della stessa fisica che valgono per gli elementi e i corpi terrestri. Inoltre la scienza oggi sa che gli atomi dell'atmosfera e della crosta terrestre (compresi quelli che costituiscono le molecole di cui siamo formati) vengono modificati da particelle che arrivano dal cielo: oltre alla luce solare (diretta o riflessa dalla luna e dai pianeti) molte altre radiazioni, tra cui i raggi cosmici.Non solo, ma è dal cielo, via satellite, che oggi si compiono molti importanti studi su ciò che avviene sulla faccia della terra.
Alla realizzazione di questa sezione hanno collaborato, fornendo materiali e consulenza scientifica: Antonio Brambati, Paolo Budinich, Edoardo Castelli, Aldo Grazioli, Margherita Hack, Sergio Milo, Paolo Santin, Giorgio Sedmak.

DENTRO L'ATOMO

La ricerca di quali siano le forze elementari che sono alla base dell'universo, cominciata con la filosofia greca, ha portato la scienza a puntare la sua attenzione su oggetti sempre più fuori dalla portata diretta dei sensi. Man mano che le tecniche di indagine hanno permesso di entrare nella struttura più riposta della materia, la scienza ha scoperto nuovi tipi di forze e nuovi elementi che la veicolano. Ma il fine ultimo resta sempre quello di dimostrare una correlazione tra tutti questi tipi di forze: tra quelle che agiscono all'interno dell'atomo e quelle che tengono assieme l'universo.
Alla realizzazione di questa sezione hanno collaborato, fornendo materiale e consulenza scientifica: Paolo Bidinich, Edoardo Castelli, Carlo Rubbia, Abdus Salam, Giorgio Salvini, Dennis W. Sciama, Brian Southworth, Robert Witten.

ORDINE E CAOS

Il computer ha offerto ai matematici la possibilità di vedere su di uno schermo a colori gli oggetti teorici che un tempo solo pochi riuscivano ad immaginare, e di vederli con i dettagli che nessuno poteva figurarsi. E grazie allo sviluppo della computer-grafica che in questi ultimi decenni si sono potute rivisitare e utilizzare certe teorie matematiche che, intorno all'inizio del secolo, avevano esplorato il territorio di frontiera tra l'ordine e il caos.
Alla realizzazione di questa sezione hanno collaborato, fornendo materiali e consulenza scientifica: Franca Aicardi, Thomas Banchoff, Antonio Borsellino, Vincenzo D'Andrea, Benoit Mandelbrot, Daniele Marini, Lucio Saffaro, Tommaso Toffoli.

DENTRO L'UOMO

Anche l'uomo stesso, la complicata chimica della salute e della malattia e soprattutto il funzionamento fisico-chimico e mentale del cervello, sono ancora territori non del tutto conosciuti. L'esplorazione del nostro corpo ha però acquistato nuovi strumenti: nuovi metodi di indagine (risonanza magnetica, microscopio elettronico, TAC, ecc.) consentono ora di osservare l'uomo mentre vive, e non solo sul tavolo anatomico. Certo, per quanto riguarda il cervello c'è ancora un lungo passo tra la sua visibilità e la piena comprensione dei suoi complicati meccanismi. In questa sezione vi parliamo in dettaglio della percezione dei dati visivi: oggi si sa che, lungi dall'essere un'operare puramente ricettivo del cervello, la percezione è un modo di formulare ipotesi sui dati sensibili da verificare con l'esperienza (un modo di operare simile in fondo a quello della scienza stessa).
Hanno collaborato a questa sezione fornendo materiali e consulenza scientifica: Antonio Borsellino, Franco Carlini, Giorgio Mustacchi, Sergio Lin, Ludovico Dalla Palma, Francesco Masulli, Roberto Pozzi.

L'IMMAGINE E LA CARTA

L'esposizione «L'immaginario scientifico» è anche un catalogo di immagini (come l'erbario è un catalogo di erbe), e un catalogo deve avere un ordine. Oltre all'organizzazione per aree di contenuto (le sezioni), in questa sezione il materiale iconografico della mostra è stato ordinato a seconda del tipo di immagine, cioè a secondo del tipo di rapporto che ogni immagine intrattiene con il suo oggetto, e cioè, in definitiva, a seconda del tipo di uso che si può fare di quel tipo di immagine: per guardare (i calchi: che ripecchiano il loro oggetto), per descrivere (le mappe: che riassumono il loro oggetto), per pensare (i modelli: che non hanno un oggetto identificabile nello spazio e nel tempo).

LA SCIENZA IN CITTÀ

Trieste, dopo essere stata un fiorente emporio commerciale (e dopo aver conosciuto la crisi di una industria pesante in declino) sta riscoprendo oggi la sua vocazione di punto di incontro tra il mondo occidentale e i paesi in via di sviluppo, ma non più per il commercio di beni materiali, bensì per lo scambio di idee e di informazioni.

PROLOGO PER UN MUSEO DELLA SCIENZA

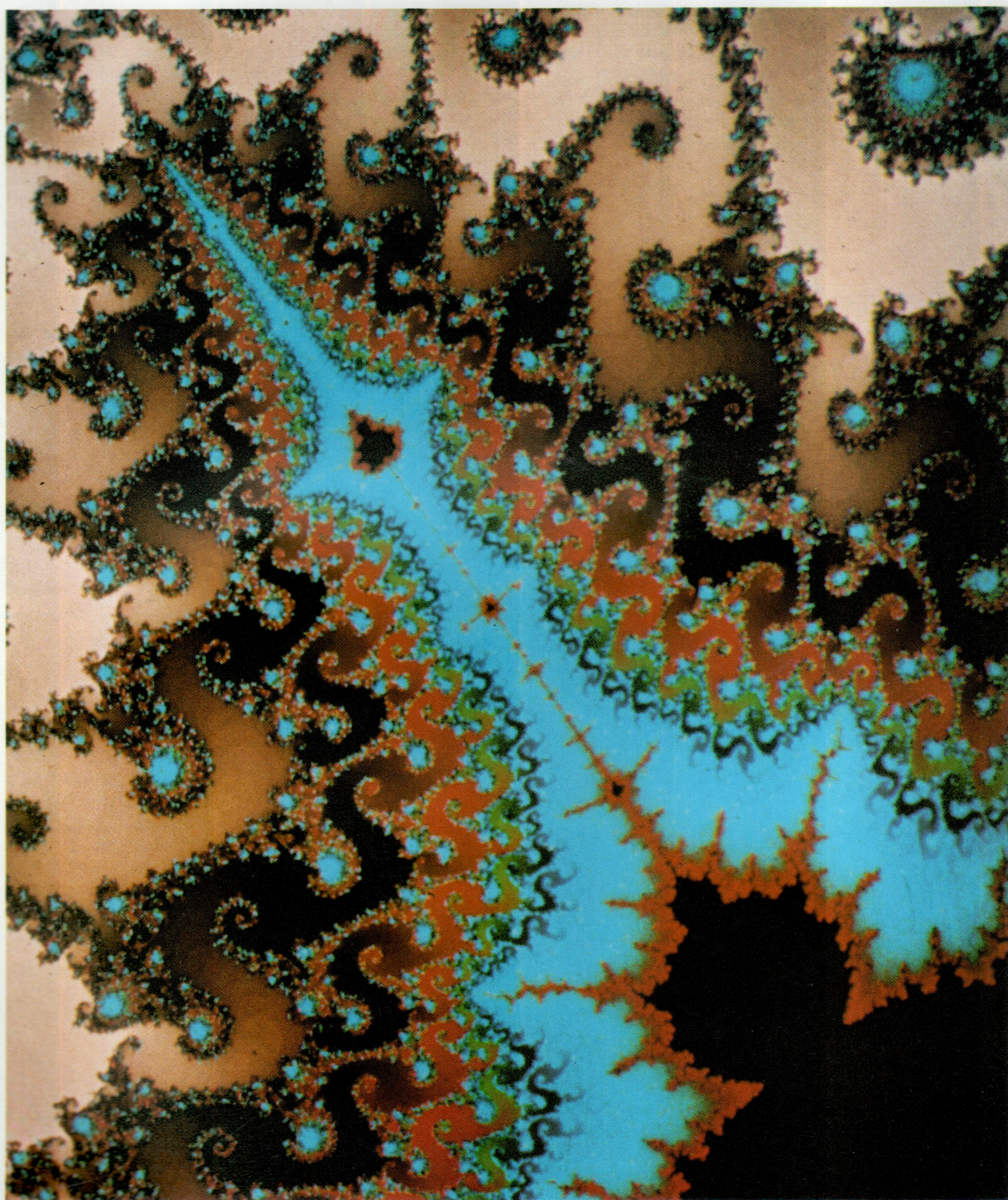
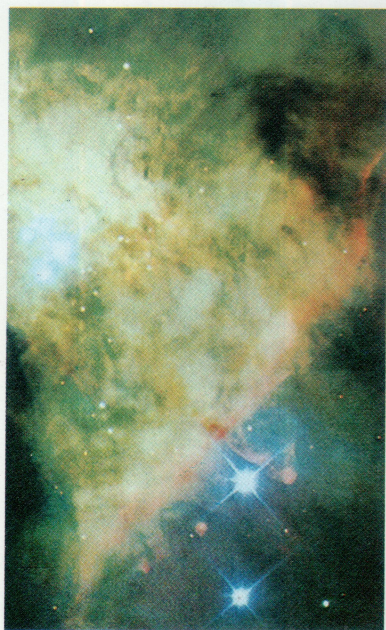
L'uomo viene al mondo dotato di quella che si potrebbe definire una ricca strumentazione scientifica d'alta precisione: gli occhi per vedere le miriadi di immagini che lo circondano; gli orecchi per sentire voci, suoni, rumori; il tatto per toccare e verificarequello che ha visto o sentito; la voce per comunicare; il cervello con miliardi di neuroni collegati in circuiti incredibilmente complessi, quale gigantesco calcolatore, per correlare immagini, suoni, sensazioni e poter così soddisfare le sue necessità di conoscere, per sopravvivere, ma anche per sapere e amare «onde partecipare, per quanto può, dell'eterno e del divino» (Aristotele, "Dell'anima" 415 a-b).
Così, durante i primi anni di vita, l'uomo colleziona nella sua memoria, immagini, senzazioni, suoni, voci e le organizza nella sua mente per costruirsi un'idea del mondo e della sua complessa realtà. Una caratteristica costante di questo lavoro di apprendimento e di confronto attivo con quella realtà è la meraviglia. «Le conchiglie (che) meravigliano la mente dei fanciulli», dice un poeta greco.
Presto però l'uomo si accorge che i sensi, suoi strumenti di conoscenza, per quanto meravigliosi, sono ben poca cosa rispetto alla complessità del mondo e ai misteri che esso ancora nasconde. L'occhio può vedere solo meno di un miliardesimo delle radiazioni elettromagnetiche che arrivano sulla terra dal sole e dalle altre stelle. La terra coi suoi animali, le piante, i cristalli, il mare coi pesci e le conchiglie, che gli sembrava di aver ben imparato a conoscere ed amare, se oservati più da vicino e con strumenti più perfetti dell'occhio come microscopi ottici, elettronici e acceleratori di particelle, rivelano strutture che mostrano mistriose somiglianze con quelle degli oggetti che nella notte brillano nel cielo: pianeti, stelle, galassie lontane, i quali a loro volta possono essere osservati solo amplificando di molto il potere d'analisi dell'occhio e del cervello con telescopi, radiotelescopi e calcolatori elettronici. E allora il bambino-uomo diventa l'uomo-bambino: lo scienziato che intende continuare l'esplorazione del mondo per vedere al di là dell'apparente: vedere l'invisibile. E per far ciò ha bisogno non solo di aiutare gli occhi a vedere ma anche di aiutare il cervello ad analizzare le immagini mediante strumenti interni: la matematica e la geometria, ed esterni: i calcolatori. Ha bisogno di continuare ad esplorare e a farsi un'idea sempre più perfetta di quelle realtà pur sapendo che questo lavoro di apprendimento non finirà mai; che non arriverà mai ai postulati definitivi di una qualche metafisica. Ma, se questa è una cosciente rinuncia della scienza moderna nei confronti delle antiche speranze della filosofia, è anche una consolazione, perchè significa che possiamo continuare, durante tutta la nostra breve vita, a mantenere lo stato di meraviglia che ha incantato la nostra infanzia.
Il puro apprendimento, di cui si è detto, inteso come assunzione ed organizzazione di informazioni nella nostra memoria, non è sufficiente. È necessario anche il momento creativo nel quale, con l'uso dell'immaginazione e della fantasia, ristrutturiamo quelle informazioni in una visione globale della realtà. È questo lavoro creativo di sintesi scientifica che alla fine ci rappresenta la realtà del mondo dentro e fuori di noi: le leggi della gravitazione universale di Newton, la legge della luce di Maxwell, la relatività di Einstein, e la legge delle forze elettrodeboli di Salam-Weinberg e Glashow, così come le leggi della percezione, della memoria, della genetica. Leggi che la sola fantasia umana, senza le osservazioni sperimentali elaborate spesso con l'ausilio della matematica e della geometria, mai avrebbe potuto prevedere.
Ma questa è storia di ieri. Per l'avvenire si prospettano nuove e più affascinanti avventure. Lo studio dell'immensamente grande e lontano e dell'infinitamente piccolo, attuato attraverso un raffinamento degli strumenti astratti della geometria, ci fa intravvedere la possibilità di una più profonda comprensione dello spazio e del tempo, anche al di là di quella già sorprendente (spazio-tempo quadrimensionale e ricurvo) offertaci dalla relatività, e la possibilità di dare una ragione alle antiche e inquietanti idee di eternità e di infinito. E così lo studio dell'ordine e del caos, con l'ausilio della geometria degli oggetti a dimensioni frazionarie (frattali) lascia sperare alla nostra ragione di poter gettare un ponte sull'abisso, che sembrava incolmabile, tra il mondo causale-deterministico della meccanica classica e quello della vita, dal quale emerge la conoscenza, che mal si rassegna ad accettare l'idea di libero arbitrio quale pura illusione.
Il cammino della scienza ci sta portando così, quasi inavvertitamente, a parole e concetti un tempo riservati alla filosofia ed alla metafisica. Con una fondamentale differenza, però: che le leggi formulate dalla scienza, anche se hanno l'apparenza di assiomi quasi-metafisici, si devono poter falsificare e verificare sperimentalmente per poter essere accettate; ed anche a queste condizioni rimangono rappresentazioni solo parziali della realtà, in qualsiasi momento confutabili attraverso nuove verifiche sperimentali, e in ogni caso destinate inevitabilmente a diventare, col progredire delle scienza, casi particolari di leggi sempre più generali.
Ad ogni modo ora, dopo la parentesi della prima era industriale, che talvolta ha portato a confondere scienza con tecnologia, la scienza sta riprendendo il posto che aveva più di duemila anni fa, accanto alla filosofia che ha segnato l'inizio della nostra civiltà. Allora il principale cambiamento fu il passaggio dal mito del cantastorie alla ragione del filosofo. Ora la scienza, con l'aiuto della ragione, ci porta a risultati e affermazioni che spesso non sono accessibili alla sperimentazione diretta e tanto meno all'intuizione del senso comune, e pertanto fa intravvedere la nascita di concetti quasi metafisici che potrebbero riaprire le porta a una

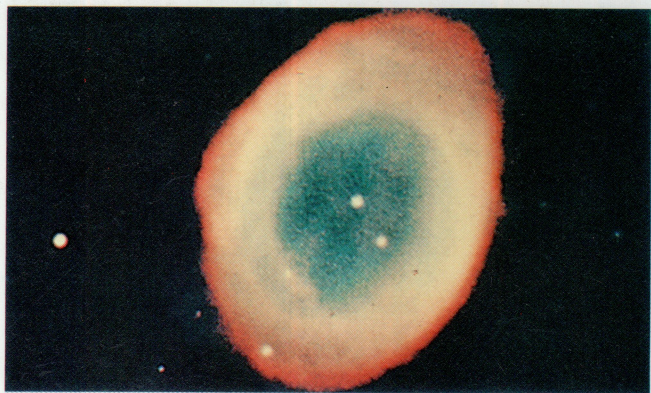
nuova mitologia. Così non è immediatamente comprensibile l'esistenza, pur sientificamente dimostrabile, dell'antimateria, nè forse quella dei buchi neri e del Big Bang, nè quella del ruolo della geometria frattale e non euclidea sia nei fenomeni della vita che nella struttura dell'universo. Per i più questi concetti sono poco dissimili da quelli rivelati negli antichi miti; ma spesso anche per i creatori delle nuove conoscenze il criterio della autoconsistenza logica delle teorie scientifiche e della loro rigorosa struttura matematico-geometrica, prevale su quello della possibilità di una loro diretta sperimentazione e quel che rimane è solo la verifica sperimentale indiretta. Così i quark non possono nè potranno mai essere direttamente osservati, e lo stesso vale per la struttura dei buchi neri, o per le prime fasi dell'evoluzione dell'universo o ancora per la fisica alla lunghezza di Planck (10^{-33} cm.) in un mondo supersimmetrico a dieci dimensioni.
Le scienze fisiche e cosmologiche oggi si avvalgono, per procedere, di intuizioni fondate principalmente su conoscienze matematico-geometriche, anzichè sul senso comune, e Platone avrebbe oggi nuove, valide motivazioni per scrivere sopra la porta della sua Accademia:«Non entri chi non conosce la geometria».
Ma questo quasi ritorno a una certa metafisica, che può facilitare il risorgere dei miti, non è meramente poetico e non può essere vissuto con distacco platonico perchè la scienza, oltre a dar vita ad immagini dal sapore mitologico, spesso determina la nascita di entità assai problematiche, volta a volta benefiche o demoniache. Si scoprono metodi per evitare malattie e sofferenze, per eliminare la fatica, per poter pensare di più e più in fretta, ma anche strumenti per distruggere noi stessi e l'ambiente in cui viviamo. Alcune di queste applicazioni indotte dallo sviluppo scientifico, in un mondo in cui la diffusione delle informazioni è enormemente accelerato, possono determinare cambiamenti essenziali nella struttura della società e nella realtà del mondo, o, il che è lo stesso, nel concetto che l'uomo se ne fa.
Ora le tecnologie dell'informazione, del calcolo, ma anche quelle biologiche possono essere foriere di grandi cambiamenti e pertanto la gente non può restare indifferente nell'apprendere le sorprendenti novità della scienza. La gente vuole sapere, capire, per poter partecipare e contribuire a decidere cosa sia giusto fare e verso dove si debba andare.
La divulgazione sta così diventando oggi un diritto irrinunciabile per la gente e un dovere cui non dovrebbero sottrarsi quelli che producono la conoscienza scientifica, anche se in effetti lo fanno spesso, impegnati come sono nell'avventura della ricerca.
Ma anche quei pochi che sono disponibili a tradurre in linguaggio accessibile a tutti i risultati, quasi mai definitivi, ai quali via via perviene la conoscienza scientifica, si trovano di fronte un compito quanto mai arduo, ingrato e sempre insidioso. Infatti, se da una parte c'è il pericolo di non farsi capire perchè chi maneggia da decenni gli algoritmi e i linguaggi che necessariamente il lavoro scientifico genera nella sua evoluzione, dà istintivamente per scontati concetti, parole e segni che richiederebbero ulteriori ed elaborate delucidazioni, dall'altra parte c'è il rischio della banalizzazione in cui spesso s'incorre nel tentativo di aggirare l'ostacolo della spiegazione in concetti complessi con l'uso dell'analogia o di metafore attraverso immagiini familiari al fine di spiegare il complicato coll'usuale e il generico; e simili espedienti sfociano in realtà nel fallimento della divulgazione perchè danno a chi vorrebbe sapere e capire la fuorviante impressione che tutto possa essere ridotto a banalità analogiche, che non dicono nulla di nuovo, mentre nelle rivoluzioni scientifiche è quasi sempre implicita una nuova, rivoluzionaria, concezione della realtà (e conseguentemente anche di noi stessi).
Oggi d'altra parte, quelli che vogliono sapere vorrebbero non solo conoscere i risultati più appariscenti delle scoperte scientifiche, di quelle che possono influire, nel bene e nel male, sul nostro destino, ma vorrebbero anche, e forse sopratutto, capire le motivazioni più profonde della ricerca scientifica, quelle che ne fanno una grande avventura del sapere, foriera di cambiamenti talvolta radicali nella concezione del reale, e che può anche dar luogo a nuove scale di valori.
Per far ciò non è sufficiente una spiegazione dei risultati più appariscenti della ricerca: molto spesso infatti la comprensione profonda delle grandi innovazioni scientifiche richiede lo sforzo di liberarsi di pregiudizi, alcuni dei quali indotti dalla imperfezione dei nostri stessi sensi. Successivamente è necessario servirsi non solo della ragione, ma anche della immaginazione. Un lavoro lungo e difficile.
Così, per esempio, la concezione einsteiniana della relatività della contemporaneità, e del tempo come quarta dimensione dello spazio, ha messo molti anni per essere definitivamente accettata anche da parte di molti fisici dell'inizio del secolo. Quelli poi che non hanno le conoscenze di fisica e matematica, necessarie per poter seguire il filo dei ragionamenti dettagliati, devono prima vincere il pregiudizio dell'azione istantanea a distanza, che la nostra stessa esperienza sembra suggerirci, e invece accettare l'idea che esiste una velocità limite, quella della luce, con la quale ogni causa che genera un effetto può propagarsi. Alla fine potrà anche accettare ciò che per la nostra fallace intuizione sensoriale sembra un paradosso, come ad esempio la contrazione delle lunghezze e dilatazione degli intervalli di tempo per sistemi in moto, che può, quest'ultima, dar luogo all'allungamento della vita (non soggettiva).
Come la scoperta della relatività di Einstein ha reso necessario l'abbandono del concetto di tempo come assoluto a priori e questo, a sua volta, ha dato luogo a nuove correnti di pensiero anche in campo non

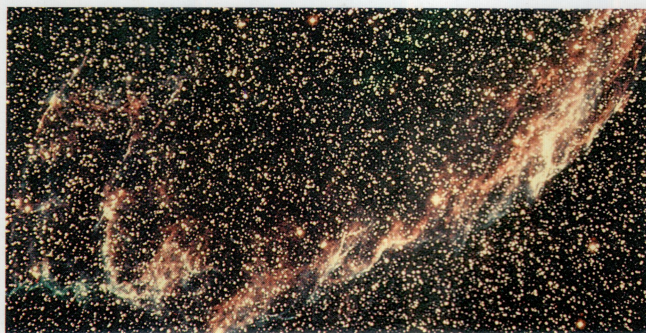
scientifico (essenzialismo), così già si intravvedono altre nuove scoperte gravide di conseguenze ed è facile prevedere che, nello studio di alcuni fondamentali problemi come quello del tempo, scienza e filosofia intreccieranno ancora a lungo le loro strade.
Lo stesso si può dire per molti altri campi della ricerca scientifica più recente come per quelli riguardanti la vita, la percezione, l'apprendimento, l'origie, la formazione e la struttura del linguaggio.
Da questi esempi si può forse intuire che per realizzare una volgarizzazione dei contenuti più interessanti della coscienza scientifica l'articolo sul giornale o la conferenza anche se eccellenti non bastano più. È necessario un lavoro più complesso e articolato sia da parte di chi trasmette che da parte di chi riceve.
Recentemente alcuni ambiziosi tentativi per realizzare più complessi modi di divulgazione, che portino fino al nucleo culturale della rivoluzione scientifica che stiamo vivendo, sono stati fatti attraverso i cosidetti musei della scienza di «terza generazione». Di questi l'esempio forse più avanzato, è la «Cité des Sciences et de Industrie» di Parigi concepita e diretta dal fisico Maurice Lévy, dove Trieste ha avuto il privilegio di allestire, nel 1986, la mostra «L'Immaginaire Scientifique» di cui M.Levy ebbe a dire (*):

> «IMMAGINARIO: Una combinazione di immagine ed immaginazione. La ricerca scientifica genera immagini di ogni tipo, che sono al contempo strumenti di ricerca e modellizzazioni. Ma la creazione scientifica, come l'arte, si basa in primo luogo sulla fantasia dell'uomo. È questa complementarietà, questo andare e venire costante fra immaginazione degli scienziati e le rappresentazioni che essi danno dei loro risultati, che questa mostra intende far capire al pubblico; giacchè quest'ultimo non sempre coglie la straordinaria evoluzione della ricerca in atto da numerosi anni, tesa verso il mondo dell'immagine e le caratteristiche proprie della creazione scientifica.»

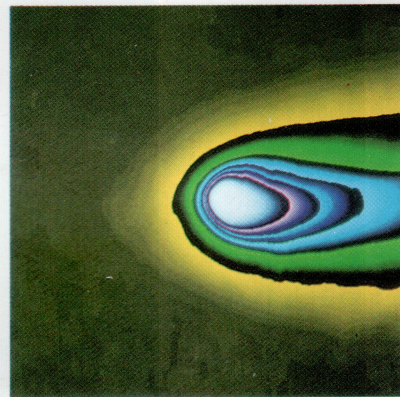
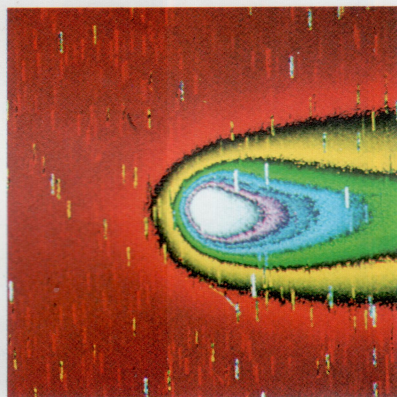
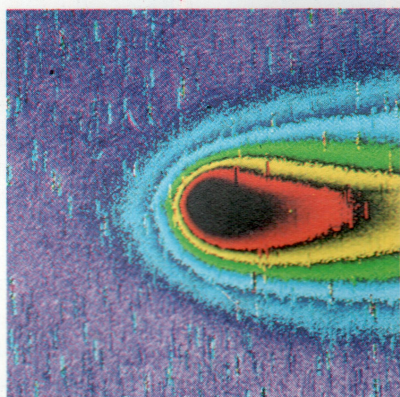
Dall'esperienza di questa mostra, che ha itinerato alla Fiera di Milano e a Napoli è nata la consapevole necessità di promuovere la costituzione di musei delle scienza di terza generazione anche in Italia, in particolare a Trieste dove, in quest'ultimo quarto di secolo, abbiamo assistito al nascere di numerose iniziative scientifiche di livello internazionale, e che quindi potrebbe essere luogo privilegiato per la creazione di un museo della scienza di questo tipo. Attraverso le istituzioni internazionali, nate e nascenti, il museo potrebbe infatti avere accesso diretto ai luoghi nei quali, a Trieste come altrove, la conoscenza scientifica più avanzata viene concepita e creata, e inoltre la gente della città (ma anche di questa parte nord-orientale d'Italia) ha il diritto di conoscere, e in tal modo anche di partecipare all'avventura scientifica, che divrebbe poter trasformare la generale atmosfera di rassegnazione e di rimpianto per il passato perduto in prospettive di nuovi orizzonti e nuovi modi di essere.
L'itinerario che vorremmo proporre per arrivare a questo museo parte proprio da »L'Immaginario Scientifico», collezione di immagini provenienti da laboratori, che la ricerca scientifica crea nel suo progredire.
In alcuni casi è l'immagine stessa che diventa il «fenomeno», quando si tratta di rappresentare il risultato di complicate operazioni matematiche e aritmetiche eseguite dal calcolatore programmato in base a una certa formulazione teorica, come ad esempio nello studio dei frattali, degli attrattori strani o degli automi cellulari.
Il lavoro scientifico procede per immagini, che molto spesso appaiono belle anche ad uno spettatore profano. Ed è da questa qualità estetica che si può partire per tentare di fare il cammino inverso, e risalire ai contenuti partendo dalla loro rappresentazione, considerata come il più agevole tramite per la divulgazione. Per tentare inoltre, per quelli che hanno curiosità ancora più vive, di andare ancora più a fondo fino ai contenuti culturali più generali che sono patrimonio non solo della scienza. Così ad esempio tentare di far capire come sia naturale, dopo la scoperta di Einstein, che spazio e tempo sono diversi aspetti di un tutt'unico, e aspettarsi che un'elettrone, prodotto dai raggi cosmici (e rivelato dall'odoscopio presentato nella mostra) possa, dopo aver urtato contro il nucleo di un'atomo della materia che attraversa, tornare indietro non solo nello spazio ma anche nel tempo; ed è ancora con le immagini, attraverso i grafici di Feynman, che si può mostrare e far capire come l'elettrone che torna indietro nel tempo diventi antimateria (realtà quest'ultima che si può constatare nell'odoscopio, ma che certo, senza le teorie di Einstein e Dirac, la mente umana mai avrebbe potuto concepire se non come pura fantasticheria).
Questo rinnovato uso, anche strumentale, che la scienza fa dell'immagine è tanto più interessante in quanto permette di avvicinare tra loro attività creative come quelle degli scienziati e degli artisti, che un tempo sembravano solo complementari, se non in antitesi. Del resto, «La poesia non ha fissa dimora, abita a suo piacere presso l'una o l'altra famiglia, nella luna immaginaria di Luciano o di Verne come in quella che Galileo spiava al cannochiale, vedendola scivolare come una gatta sui tetti, ma polemizzando con chi vedeva soltanto le sue movenze di gatto e non le sue macchie e i suoi crateri» (Claudio Magris: "Danubio").
Ma ora la finalità ultima di questa esposizione è quella di dotare Trieste di un museo della scienza interattivo di nuovo tipo o «di terza enerazione». Perciò l'autunno di questo 1988 dovrebbe vedere la metamorfosi della mostra nel «Laboratorio dell'Immaginario Scientifico», dove si potrebbe non solo sperimentare «provando e riprovando» la possibilità di partecipazione della gente e dei giovani (ma anche dei giovanissimi delle scuole di tutti i gradi) all'avventura della scienza, ma anche tentare nuove strade per la divulgazione con altre immagini, nuovi media interattivi e anche con strumenti scientifici, vecchi e nuovi, portati dai laboratori per ripetere le esperienze che hanno aperto i nuovi orizzonti della scienza. Assieme agli strumenti noi speriamo che verranno dai laboratori anche i ricercatori per colloquiare con la gente e far capire sia il contenuto che le motivazioni delle ricerche nelle quali sono impegnati, ma anche per apprendere a loro volta questo difficile mestiere della comunicazione scientifica verticale, di cui oggi, come non mai, è sentita l'esigenza.

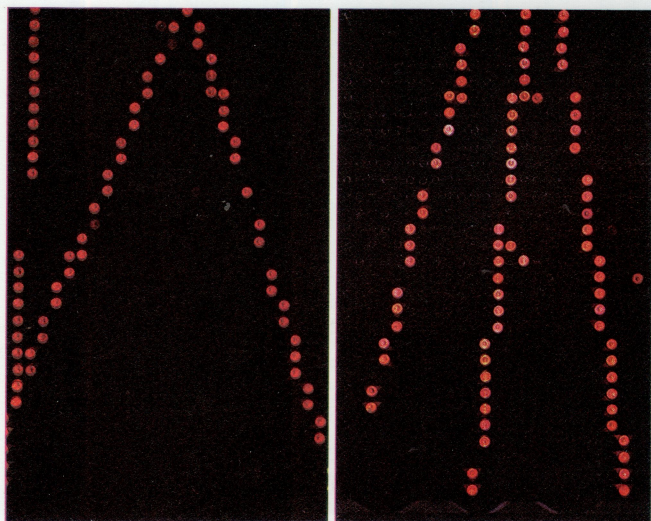
Paolo Budinich

VITA E MORTE DELLE STELLE

La nostra Via Lattea e le galassie in generale sono come delle enormi città i cui cittadini sono le stelle. Come nelle città, gli individui nascono e muoiono, ma in media la popolazione resta costante. Ci sono fra le stelle quelle molto longeve, la cui vita può durare decine e decine di miliardi di anni e quelle le cui vita può durare solo qualche milione di anni.
Ma come nascono le stelle? In uno spazio interstellare praticamente vuoto, meno di un atomo per centimetro cubo, si incontrano delle concentrazioni di materia, dette nubi interstellari, dove la densità è da 10 a 1000 o 10.000 volte più alta (ed è pur sempre bassissima rispetto ai nostri valori terrestri: al massimo qualche miliardesimo di miliardesimo della densità dell'acqua). Queste nubi sono formate da atomi e molecole di idrogeno, da piccole percentuali di atomi e molecole degli altri elementi noti sulla terra, sopratutto elio, carbonio, azoto, ossigeno, silicio, ferro, e da particelle microscopiche di polveri. Le polveri sono particelle solide composte di grafite, silicati, ghiaccio. Poichè la loro massa, per quanto microscopica, è un migliaio di miliardi di volte superiore a quella dell'atomo o della molecola di idrogeno, esse esercitano una forte attrazione gravitazionale sul gas circostante e diventano così dei centri di condesazione della materia. E più la loro massa cresce, più cresce il loro potere di attrarre altra materia. Così si possono formare concentrazioni di massa paragonabile a quella di una o più stelle. Inizialmente il gas è rarefatto e trasparente. Il calore prodotto dalla condensazione sfugge quindi liberamente; ma con l'aumentare della concentrazione il gas diventa sempre più opaco.

Due regioni dello spazio in cui si formano nuove stelle: la nebulosa Trifide (a sinistra) e la nebulosa Lagoon (a destra). La luce rossastra che si diffonde in queste nebulose è dovuta all'emissione del gas idrogeno eccitato dalle stelle in esse contenute. Le stelle irraggiano perchè, aumentando la concentrazione della materia, la temperatura cresce sempre più, fino a raggiungere valori pari a 5-10 milioni di gradi. A queste temperature l'idrogeno può trasformarsi in elio perdendo massa, cioè liberando energia. Energia che esce dalle stelle sottoforma di luce.

La nebulosa planetaria della Lira, rappresenta la fase finale di una stella di piccola massa (uguale o minore a quella del Sole). Le stelle di queste dimensioni vanno solitamente incontro a una morte lenta dovuta ad insufficiente produzione di energia nucleare, perchè l'idrogeno si è interamente trasformato in elio. La stella comincia a contrarsi nel nocciolo (a causa della forza gravitazionale non più sufficientemente bilanciata dalla pressione del gas) e a dilatarsi (di un centinaio di volte) nel suo inviluppo più esterno. E la fase chiamata gigante rossa, alla quale segue la fase di nana bianca in cui la stella diventa piccola, calda e poco luminosa.

La nebulosa Velio. Questa nebulosa potrebbe costituire il resto di una supernova esplosa in epoca preistorica. La supernova costituisce l'ultima fase di una stella di grande massa. Queste stelle non si spengono lentamente quando finisce l'idrogeno, al contrario innescano una serie di reazioni nucleari fino ad avere un nocciolo di ferro. Allora si ha un collasso della parte centrale e un enorme numero di reazioni nucleari nell'inviluppo esterno. Da centrale nucleare la stella si trasforma in bomba atomica, e lo splendore della stella raggiunge quello di una intera galassia.

CODA E ANTICODA DI UNA COMETA

Le osservazioni a grande campo di comete ed ammassi stellari globulari mostrano immagini fra le più affascinanti dell'astronomia.
Le comete sono oggetti apparteneti al nostro sistema solare. Nel loro orbitare attorno al sole le comete generano una struttura di chioma e coda che, all'analisi fine, si dimostra di grande complessità. Lo studio della morfologia dell'immagine cometaria permette di verificare la validità fisica dei modelli matematici proposti per spiegare la vita dinamica delle comete e la loro interazione con lo spazio interplanetario.
La serie di immagini cometarie qui presentata riguarda uno studio svolto sulla cometa Bennet 1970 II allo scopo di verificare la validità del modello teorico di Hiroshi e Cai-pin del 1977 delle strutture anomale visibili talvolta nelle comete sotto forma di sottili e deboli strie, le Neck LIne Structures. Queste strutture sono importanti perchè permettono, fra l'altro, di misurare la densità dei granuli di polvere evaporati dalla cometa riscaldata dal sole in funzione della loro grandezza. Il confronto della distribuzione trovata nella cometa con la distribuzione trovata nello spazio interplanetario mette in evidenza una correlazione che può essere interpretata in termini di origine ed evoluzione comuni.

Immagine in densità della Cometa Bennet 1970 II presentata con la tecnica dei falsi colori.

L'immagine viene trasformata numericamente da densità (scala nonlineare) ed intensità (scala lineare). SI ricerca l'evidenza di una anti-coda, una specie di punta allineata al nucleo della cometa e posta davanti ad esso. Ricerca motivata dalla debole irregolarità del profilo della chioma cometaria, che mostra una sporgenza proprio dove l'anticoda è prevista dalla teoria.

Il risultato finale della ricerca. Con l'uso di un filtro numerico mediano si ottiene il segnale di fondo dell'immagine. Questo viene sottratto all'immagine di partenza. Ne risulta una debole striscia passante per il nucleo della cometa che viene successivamente evidenziata con l'uso di un filtro mediano direzionale separabile.

IL CIELO PIOVE SULLA TERRA

I RAGGI COSMICI E L'ODOSCOPIO

I raggi cosmici sono costituiti da particelle elementari (protoni, elettroni e mesoni) che viaggiano a velocità prossima a quella della luce e vengono generati dall'urto tra raggi cosmici primari, provenienti dallo spazio interstellare, e gli atomi dell'atmosfera. L'origine dei raggi cosmici primari, costituiti principalmente da protoni, rappresenta uno dei misteri non ancora svelati della natura. La fortissima accelerazione dei protoni potrebbe essere dovuta alle stelle di neutroni (o pulsar). Queste stelle sono costituite da materia di altissima densità e girano vorticosamente (anche parecchi giri al secondo) emettendo fortissimi fasci di campi magnetici. Potrebbero essere loro a imprimere in tal modo ai protoni dell'idrogeno velocità paragonabili a quelle dei raggi cosmici che piovono sulla terra. Più recentemente si tende a credere che i raggi cosmici possano essere collegati con i fenomeni di altissime energie che gli astrofisici stanno scoprendo nei nuclei di alcune galassie dette per questo attive. In ogni modo i raggi cosmici arrivano da regioni lontanissime, impiegando centinaia di migliaia di anni per giungere fino a noi.

L'odoscopio è un apparecchio che permette di visualizzare il passaggio ("odos" in greco vuol dire appunto «via, cammino») dei raggi cosmici. È costituito da diverse centinaia di tubi cilindrici riempiti di gas neon, ordinatamente accatastati e distesi in modo che se ne vedano solo le basi. La macchina è fatta in modo che di questi tubi si accendano solo quelli attraverso i quali è passato un raggio cosmico.
Quando una particella carica attraversa la materia avviene un fenomeno detto ionizzazione che consiste nella perdita di uno o più elettroni da parte di un atomo che si carica così positivamente. In alcuni materiali questo fenomeno si manifesta come una debole scintillazione. Sopra e sotto i tubi pieni di gas neon sono allineati degli scintillatori e dei fotomoltiplicatori capaci di rivelare le deboli emissioni di luce causate dal passaggio di un raggio cosmico e di trasformarle in impulsi elettrici. Quando un segnale luminoso in uno scintillatore della fila superiore dopo tre nanosecondi (il tempo che impiega la luce a percorrere un metro) è seguito da un segnale luminoso nella fila inferiore, quasi certamente è passato un raggio cosmico. Un segnale fa accendere allora solamente i tubi ionizzati dal passaggio di una particella carica. Un secondo segnale, dopo che la traiettoria del raggio cosmico sarà apparsa agli occhi dell'osservatore, farà spegnere tutti i tubi.
Lo studio dei raggi cosmici ha fornito, nel 1932, l'evidenza sperimentale per un'ardita ipotesi teorica precedentemente formulata da Paul Dirac, la prova cioè dell'esistenza di particelle con caratteristiche intrinseche opposte a quelle delle particelle note:l'antimateria. Si poterono osservare degli sciami di particelle, spiegabili soltanto nei termini della teoria di Dirac. I raggi cosmici, difatti, scontrandosi con gli atomi dell'atmosfera terrestre producono fotoni, i quanti del campo elettromagnetico, che si possono pensare come particelle senza massa e con spin intero (=1). I fotoni possono avere altissima energia costituendo una radiazione a cortissima lunghezza d'onda (raggi gamma: g nello schema in figura).Questi fotoni ad alta energia si possono a loro volta trasformare in paia elettrone-positrone (per l'equazione relativistica che collega energia e materia). I positroni (e-, nello schema) hanno vita brevissima perchè si annichilano non appena incontrano un elettrone, dando luogo (sempre per lo stesso principio relativistico) a particelle ad altissima energia che a loro volta, urtando altri atomi, producono nuova antimateria.

LA TERRA VISTA DAL CIELO

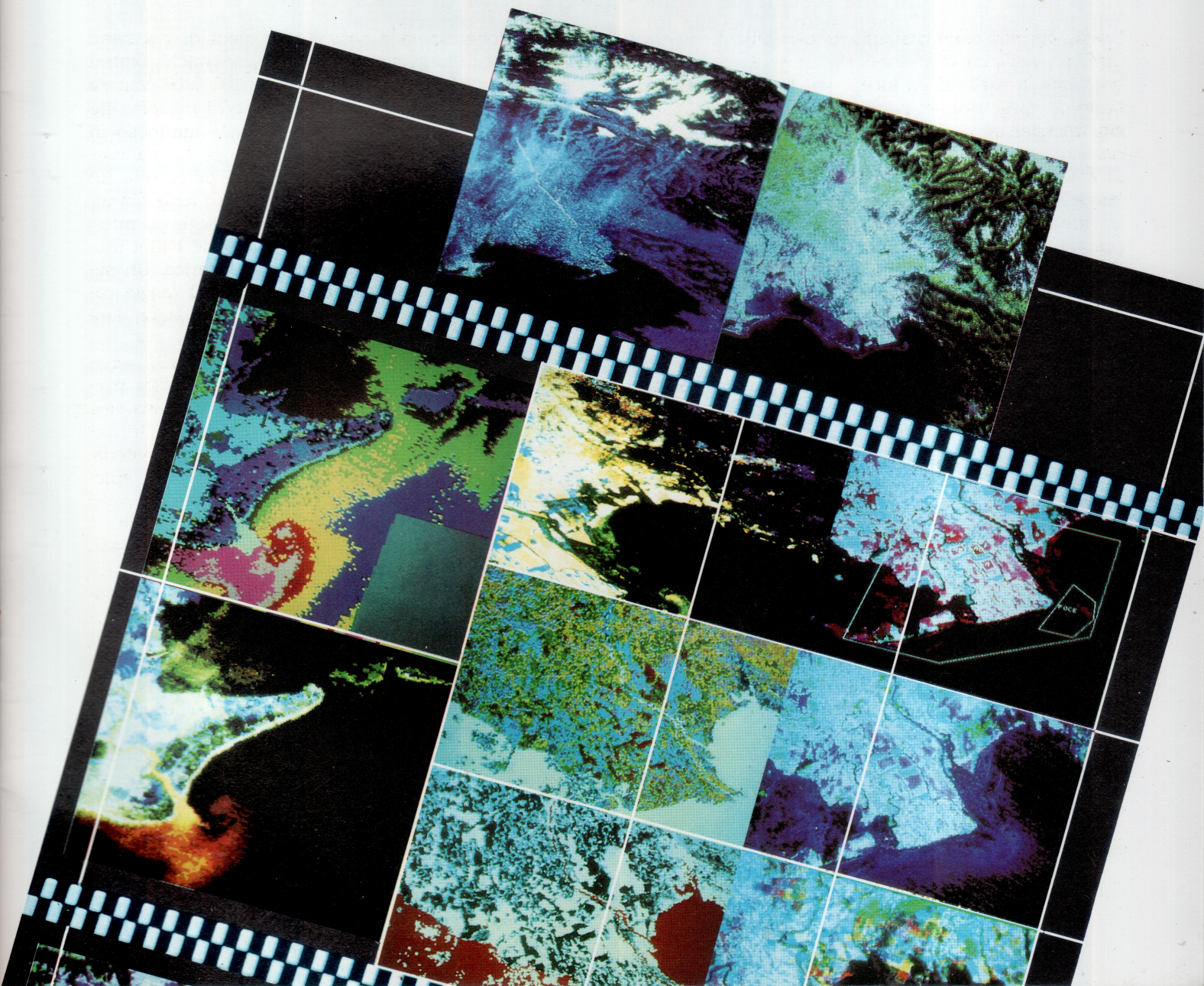
IL TELERILEVAMENTO DA SATELLITE LANDSAT

Le immagini da satellite Landsat sono il frutto di un procedimento di acquisizione e rielaborazione di dati sulla riflettanza della superficie terracquea ricevuti dallo spazio. Li trasmette un satellite specializzato, eliosincronico, a bordo del quale è installato un multispectral scanner, uno strumento oscillante in grado di captare ad ogni oscillazione la radiazione solare riflessa da una fascia di superficie terrestre larga circa un centinaio di metri e lunga circa 200 Km.

Lo spettro di frequenza della luce riflessa è «una firma» della sostanza che la riflette, dato che ogni sostanza assorbe la luce a differenti frequenze d'onda. Per questo il multispectral scanner scompone la luce rilevata in quattro bande di frequenza, in modo che per ogni punto (corrispondente a un quadrato di circa due ettari) vengono registrati quattro numeri interi che determinano una schematica firma spettrale.

L'insieme ordinato di questi dati numerici, funzione del grado di riflettanza della superficie di quel dato punto, viene trasformato, nella stazione che riceve i dati a terra, in un tassellino quadrato di colore unitario (pixel) che compone il mosaico dell'immagine. Il colore di ogni pixel è formato per tricromia: i valori di radianza corrispondenti a tre delle quattro bande diventano rispettivamente le quantità di verde di rosso e di blu.

L'immagine registrata viene poi elaborata statisticamente. Si può decidere di assegnare uno delle centinaia di colori a disposizione a una certa radianza media fissata per descrivere ed enfatizzare un certo insieme di oggetti o di fenomeni che appariranno perciò di un colore uniforme.

L'immagine di partenza, simile ad una fotografia, viene trasformata così in un'immagine a colori uniformi, ogniuno dei quali, come nelle carte temetiche, rappresenta una certa classe di oggetti. Con il telerilevamento da satellite si ottengono tra l'altro, inventari agricoli e forestali, studi sull'umidità del suolo, sulla presenza dell'acqua, sugli agglomerati urbani, sulle dinamiche lagunari e costiere, sulla copertura nevosa.

LE GRANDI SINTESI

I Greci conoscevano la strana proprietà dell'ambra (che chiamavano "electron") di attirare a se, se strofinata, piccoli corpi leggeri. Era noto anche il fenomeno del magnetismo. Anzi, proprio sulla calamita Talete fa le prime riflessioni sulla natura delle forze, attribuendo «un'anima al magnete, dato che muove il ferro» (Aristotele, "Sull'anima" 405a 19-21).

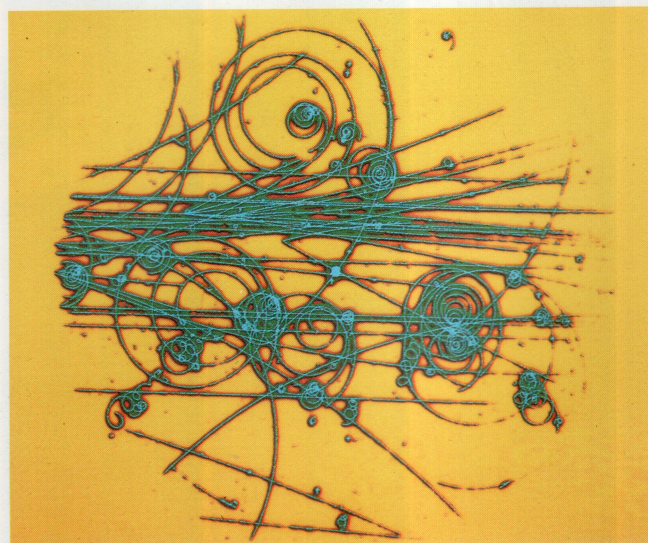
Questi due tipi di forze erano però fenomenologicamente troppo differenti perchè si potesse azzardare una unificazione scientifica, e, fino a tutto il XVIII secolo, elettricità e magnetismo furono considerati totalmente distinti. Nei primi decenni del secolo XIX, invece, gli esperimenti di Volta, Ampère, Coulomb, Hertz e Faraday cominciarono a rivelare una stretta correlazione tra le forze elettriche e le forze magnetiche. Riflettendo su questi esperimenti, James C. Maxwell sviluppò una teoria del campo elettromagnetico nella quale si mostra una sostanziale simmetria tra elettricità e magnetismo, che alla luce di questa teoria appaiono come due aspetti di un'unica realtà. La sintesi espressa delle equazioni di Maxwell è rimasta un fondamento della fisica contemporanea. Nella Teoria Quantistica, difatti, fotone è chiamato il "quantum" (cioè l'unità minima di azione) di entrambi i tipi di forze.

Il quadro cosí elegantemente semplificato dalla teoria di Maxwell venne però presto a complicarsi nuovamente. Nel 1895 Jacques Becquerel scoprí che l'uranio emette una misteriosa radiazione capace di impressionare una lastra fotografica ricoperta con una spessa carta nera: era la prima evidenza di una radioattività naturale, un nuovo tipo di forza in natura. Un anno dopo, Pierre e Marie Curie, nel loro laboratorio privato, avendo a disposizione una tonnellata di uranio grezzo, riuscirono a isolare due nuovi elementi chimici fortemente radioattivi: il polonio e il radio.

Enrico Fermi, a Roma nel 1934, utilizzando un grammo di radio e pochi altri strumenti, riuscí ad ottenere i primi radioisotopi artificiali mediante bombardamento di neutroni. Neutroni erano state chiamate proprio in quegli anni le ipotetiche particelle subatomiche prive di carica elettrica e responsabili della radioattività naturale. Sui neutroni Fermi elabora una teoria che definisce un ulteriore tipo di forze naturali: le forze nucleari deboli.

Nella prima metà di questo secolo il quadro delle forze naturali è sempre più complicato:

Traiettorie di particelle cariche nella grande camera a bolle del CERN di Ginevra. La camera a bolle è uno strumento che permette di visualizzare le interazioni delle particelle elementari. Contiene un gas (idrogeno, elio, propano...) allo stato liquido che viene rapidamente e per brevissimo tempo portato a condizioni di pressione tali da permettere la formazione di nuclei di ebollizione quando e dove una particella penetra nella camera. In questa foto: un'interazione del neutrino ha dato origine a numerose paia di elettroni-positroni.

Traiettorie di particelle generate da interazioni nucleari con l'idrogeno liquido in una camera a bolle di 32 cm.cubi usata al CERN attorno al 1960.
Pioni (di 16 Gev) entrano nella camera a bolle dalla sinistra. Uno di loro colpisce un protone e produce sei particelle cariche. Una di queste interagisce generando altre quattro particelle cariche più una neutra, invisibile fino a quando non decade in due particelle cariche di segno opposto rivelate da una traiettoria a V.

DALL'AMBRA A Z°

alle forze gravitazionali (decritte dalla teoria newtoniana e dalla relatività generale) e alle forze elettromagnetiche (unificate dalla teoria di Maxwell) si erano difatti aggiunte le forze nucleari (che tengono cioè legate le particelle che costituiscono il nucleo dell'atomo) deboli e forti. Ma i fisici non hanno perduto la speranza. Nei primi anni sessanta, Sheldon Glashow, Abdus Salam e Steven Weinberg hanno elaborato una teoria in grado di unificare le forze elettromagnetiche e le forze deboli in un unico campo elettrodebole. Nella Teoria Quantistica i quanta delle forze elettrodeboli sono i bosoni intermedi W+ e Z. L'esperimento UA1 guidato da Carlo Rubbia al CERN di Ginevra rileva queste particelle nel maggio 1983 e ne misura le masse. Ma la fisica teorica sta cercando da tempo e in molte direzioni una maniera di unificare tutte le forze naturali, cioè le gravitazionali, le elettrodeboli e le nucleari forti. A questa unificazione hanno lavorato in passato (quando non si conoscevano ancora le interazioni nucleari) fisici e matematici come Eistein, Weyl, Kaluza-Klein, Eddington. Oggi ai tentativi di questi scienziati se ne sono aggiunti molti altri. Alcune di queste teorie venno sotto il nome collettivo di GUT (Grand Unified Theories).

Fotografia fatta nell'aprile 1967 nella camera a bolle di 1.1 m cubi del CERN di Ginevra, camera usata per i liquidi pesanti. Le traiettorie più dritte sono triettorie di muoni, particelle ad alta energia. Le traiettorie a forma di spirale, dovute all'influenza del campo magnetico nel quale si trova immersa la camera, sono tracciate da particelle a più bassa energia. Più alta è l'energia delle particelle, più la loro traiettoria si mantiene retta, perchè minore è la deviazione causata dal campo magnetico. Studiando le deviazioni delle traiettorie nella camera a bolle si possono cosi determinare la natura e l'impulso delle particelle.

LE PARTICELLE SUBATOMICHE

GLOSSARIO PRELIMINARE

ELETTRONE:
La prima particella elementare identificata e studiata. Ha carica elettrica negativa (è la più leggera particella che possegga carica elettrica). E un fermione di spin un mezzo h/2 n, dove h è la costante di Planck.

POSITRONE:
Particella scoperta nei raggi cosmici. E l'antiparticella dell'elettrone: ha massa e spin uguali all'elettrone ma carica opposta. Un elettrone e un positrone quando si incontrano si annullano reciprocamente e danno luogo alla nascita di due fotoni ad alta energia.

PROTONE
Il costituente stabile della materia. Ha carica elettrica positiva. E un fermione di spin un mezzo.

ANTIPROTONE
L'antiparticella del protone.

NEUTRONE
Con il protone è il costituente fondamentale dei nuclei atomici. Ha carica elettrica nulla. E un fermione di spin un mezzo.

NEUTRINO
Particella che non ha interazioni nucleari. Come il neutrone ha carica elettrica nulla, ma a differenza di questo ha massa quasi zero. Si produce nel decadimento radioattivo ed è stata ipotizzata per rendere coerente la descrizione di questo processo con i principi della conservazione dell'energia e della quantità di moto. E un fermione di spin un mezzo.

FOTONE
La quantità indivisibile di energia elettromagnetica. Ha carica nulla, massa nulla e spin intero uguale a uno. E un bosone.

FERMIONE
Tutte le particelle che hanno spin (momento angolare intrinseco) semintero. Le particelle di questo tipo seguono le distribuzioni statistiche di Fermi-Dirac, da cui il loro nome.

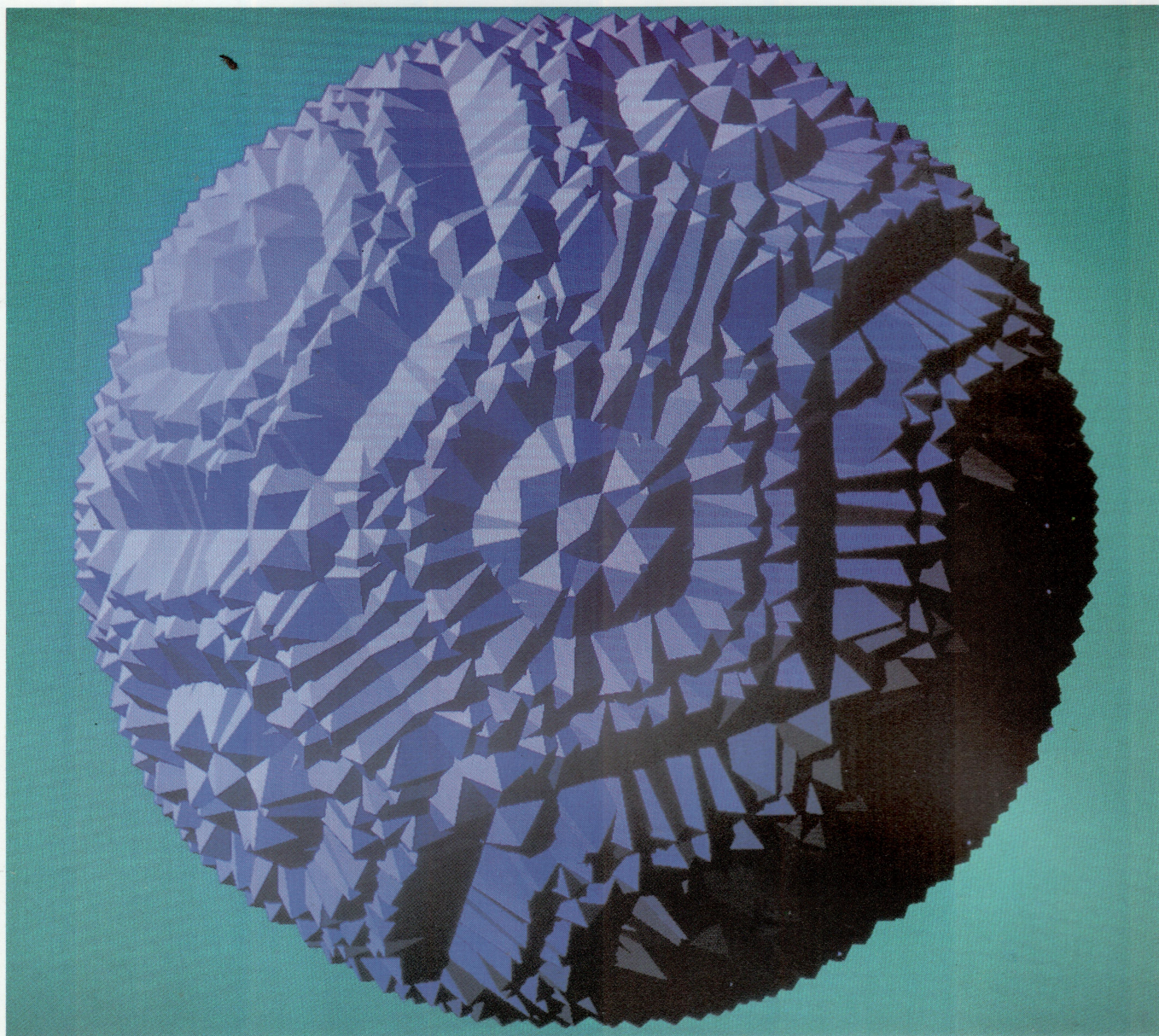
BOSONE
Tutte le particelle che hanno spin intero o nullo. Le particelle di questo tipo seguono le distribuzioni statistiche di Bose-Einstein, da cui il loro nome.

BOSONE Z°
Particella che è analoga al fotone, ma che, a differenza di questo, possiede massa (circa 95 volte quella del protone).

MUONE
Particella analoga all'elettrone (o al positrone), ma di massa 205 volte maggiore.

PIONE
La più leggera particella che veicola l'interazione nucleare forte.

La traccia caratteristica del bosone Z° che si disintegra in un paio elettrone-positrone, registrata nel maggio 1983 al CERN di Ginevra. In quest'immagine, che costituisce l'esito positivo dell'esperimento UA1 guidato da Carlo Rubbia, sono visibili traiettorie di particelle sia ad alta che a bassa energia: la particella Z° che si disintegra nel paio elettrone-positrone forma una V molto aperta che attraversa diagonalmente il centro della foto.

Particolare di un icosaedro del secondo ordine. Insieme formato da cento icosaedri omocemtrici compenetrati. È chiaramente visibile la sagoma pentagonale di una delle facce del dodecaedro che appare in filigrana.
Immagine ideata da lucio Saffaro e da lui realizzata con la collaborazione di Egildo Cavazzini e Fabio Frattini (gruppo VEL, ENEA di Bologna).

METAMORFOSI DI UN POLIEDRO

Nello spazio possono esistere soltanto cinque poliedri regolari, i cosiddetti poliedri platonici. Ma questi poliedri regolari, ruotati su opportuni assi di simmetria e mantenuti omocentrici, possono venire composti in modo da formare dei nuovi solidi stellati (concavi-convessi) che mantengono tutte le proprietà di simmetria dei poliedri platonici.
Si può così innestare un procedimento di "mise en abime". Infatti, dato che il solido composto, per esempio, da dieci icosaedri regolari (denominato icosaedro composto del primo ordine) riaquista la simmetria dell'icosaedro regolare, il procedimento può essere ripetuto (anche ad infinitum) partendo da questo nuovo poliedro: dieci icosaedri composti del primo ordine, ruotati sempre sugli stessi assi di simmetria, formano un icosaedro composto del secondo ordine, costituito da cento icosaedri elementari.
A questo punto si manifesta un fatto sorprendente: l'icosaedro composto del secondo ordine assume chiaramente la forma di un dodecaedro, il solido duale dell'icosaedro.

GLI AUTOMI CELLULARI

Una macchina per creare universi.

Gli automi cellulari sono degli universi sintetici basati su meccanismi molto semplici. Ogni elemento dell'universo, rappresentato da un punto sullo schermo, può essere immaginato come un calcolatore piccolissimo contenente solo alcuni bit di memoria, dotato di un'unica istruzione (la stessa per tutti gli elementi di un medesimo universo) e collegato solamente con gli elementi adiacenti. Lo schermo è come una finestra su questo universo, attraverso la quale è possibile seguirne l'evoluzione. I colori rappresentano lo stato di ogni elemento.

Gli automi cellulari furono ideati, attorno al 1950, da John von Neuman per simulare alcuni aspetti della vita biologica. Di fatto a tutt'oggi l'automa cellulare più conosciuto è il gioco "Life", ideato da John Conway. Funziona con queste regole: ogni elemento acceso che ha 2 o 3 elementi adiacenti accesi sopravvive fino alla prossima mossa, ogni elemento che ha un solo o nessun elemento adiacente acceso muore per solitudine e si spegne, ma muore spegnendosi, per sovraffollamento, anche ogni elemento che ha 4 o più elementi accesi, mentre nasce accendendosi ogni elemento che abbia esattamente tre elementi adiacenti accesi.

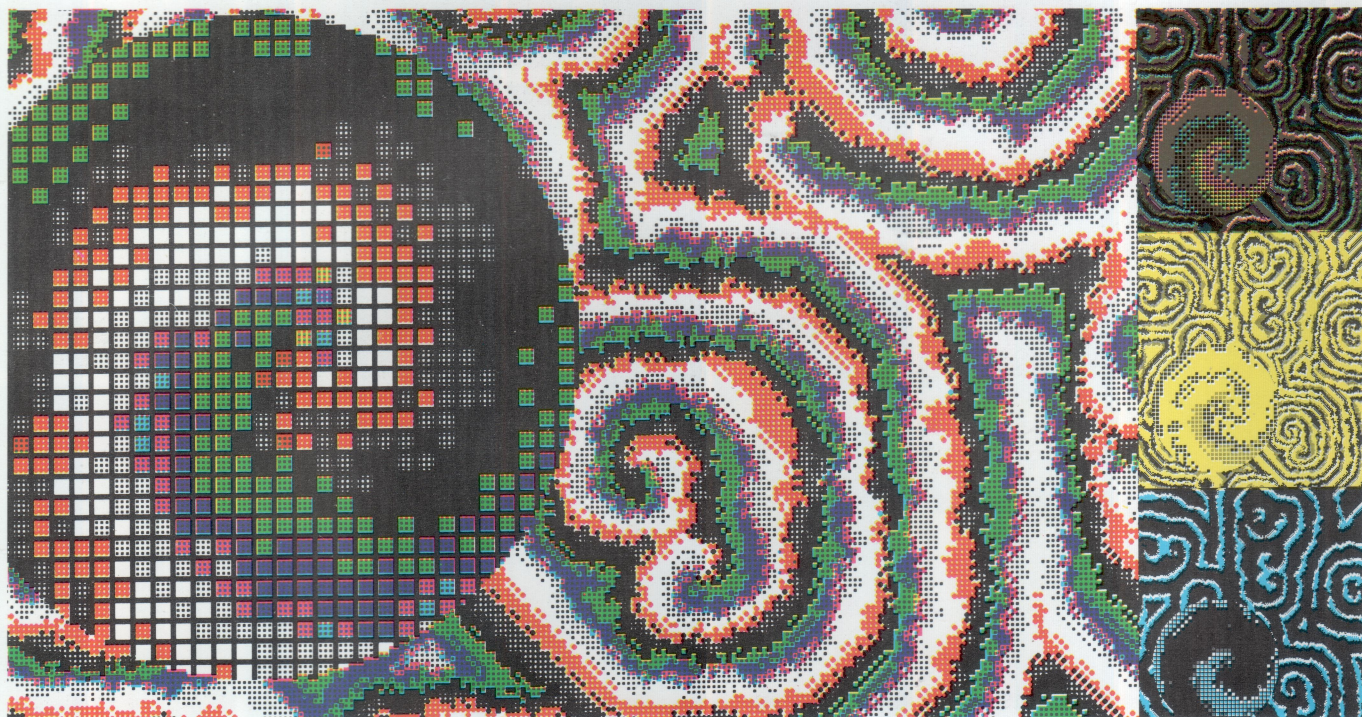
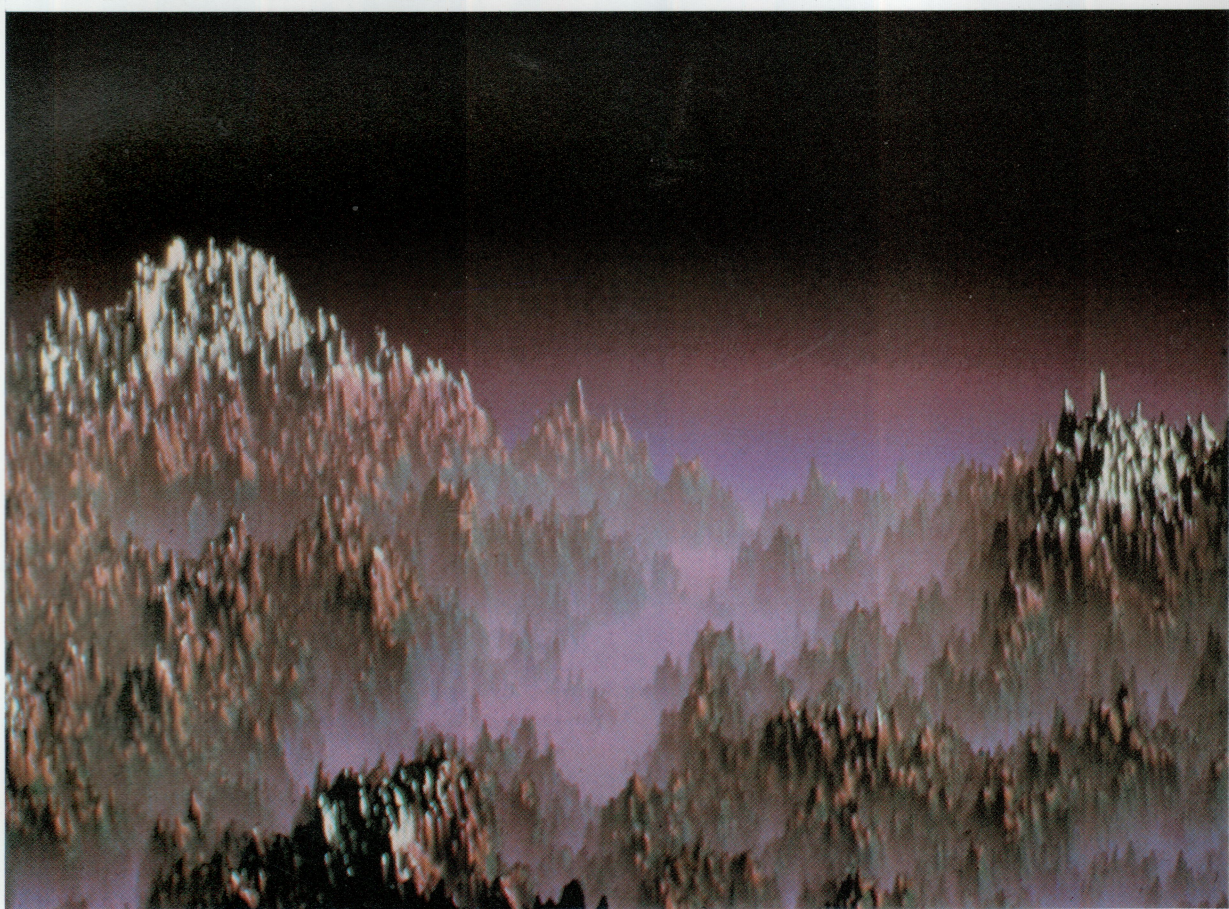
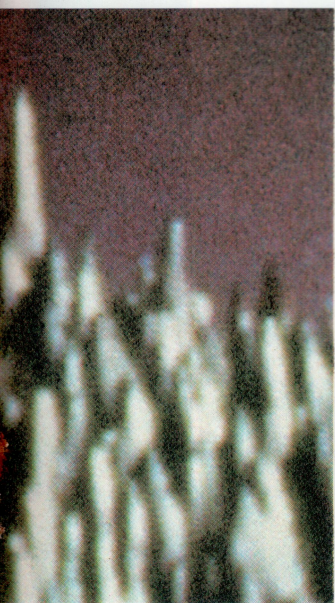
Si può provare a giocare a Life con una normale scacchiera usando delle pedine per segnare gli elementi accesi, ma anche con molta pazienza si riuscirebbe a seguire una porzione troppo piccola di questo universo artificiale. Facendo giocare questo o altri simili giochi ad un computer (anche un semplice personal può essere predisposto a tal fine mediante l'inserzione della scheda CAM) si possono invece compiere veri e propri esperimenti simulando fenomeni ottici, chimici, fluidodinamici, ecc.. Le istruzioni per ogni elemento possono difatti essere oculatamente scelte in modo da renderle il più vicino possibile alle leggi a cui obbediscono dagli elementi dei vari sistemi fisici. L'evoluzione del gioco dimostrerà la bontà dell'approssimazione. Oppure, viceversa, un gioco inventato astrattamente potrà dimostrare nella sua evoluzione certe somiglianze con fenomenologie naturali, fornendo così delle indicazioni sui possibili meccanismi che ne stanno all'origine.

L'automa cellulare qui raffigurato mostra su scala macroscopica un comportamento molto simile a quello di certe reazioni chimiche scoperte di recente, chiamate reazioni di Zhabotinsky: le proprietà dei reagenti evolvono in maniera ciclica nello spazio e nel tempo, dando luogo a onde di fase che formano tipici disegni a doppia spirale. Su scala microscopica, immaginiamo che ogni cella sia occupata da una lumaca timida, che rientra immediatamente nel guscio non appena vede nel vicinato un certo numero di lumache fuori da loro guscio, e attende quattro passi del gioco prima di riemergere. In questa interpretazione, una pedina su una cella della scacchiera indica che la corrispondente lumaca è fuori: ogni cella contiene anche un dado a quattro facce, che viene usato come contatore (3,2,1,0) per indicare il tempo per cui la lumaca deve ancora stare nascosta. Se si fa partire il gioco da una situazione scelta a caso, con un certo numero di lumache nascoste, e i corrispondenti contatori che indicano tempi di attesa scelti a caso, il sistema converge rapidamente verso un'evoluzione quasi-ciclica del tipo illustrato in figura.

Immagine tratta da T. Toffoli e N. Margolus, Cellular Automata Machines, A new environmant for modeling per cortesia della MIT Press.

Paesaggi sintetici ottenuti al calcolatore con un metodo di simulazione ideato da Benoit Mandelbrot.
Uno dei risultati principali del lavoro di Mandelbrot riguarda il tipo di processo stocastico adatto a modellare un ambiente naturale. Si tratta del processo browniano ordinario, che è il modello statistico del moto tipicamente imprevedibile, erratico, di cui è dotata una particella (per esempio di polline) in sospensione

in un liquido. Il processo browniano frazionario consente di dosare l'erraticità del processo. Si possono così generare paesaggi di differente età geologica, come i due presentati in figura.

Il metodo ha avuto una applicazione artistica e commerciale nella produzione cinematografica: queste immagini sono state infatti realizzate da R.L. Voss per la Lucas film.

GLI OGGETTI FRATTALI

Alla ricerca di una geometria tra ordine e caos.

Gli oggetti frattali (o, più brevemente, i frattali) sono enti geometrici che possono essere utilizzati per descrivere molte morfologie naturali come le ramificazioni di un albero o di un fulmine, il profilo di una costa, la distribuzione della galassie, i dendriti di una cellula nervosa, i vortici in un fluido turbolento, il moto browniano delle molecole, ecc.. Una descrizione accurata di queste morfologie in termini della geometria classica non era possibile, a causa del gran numero di dettagli non inessenziali che si dovevano trascurare.

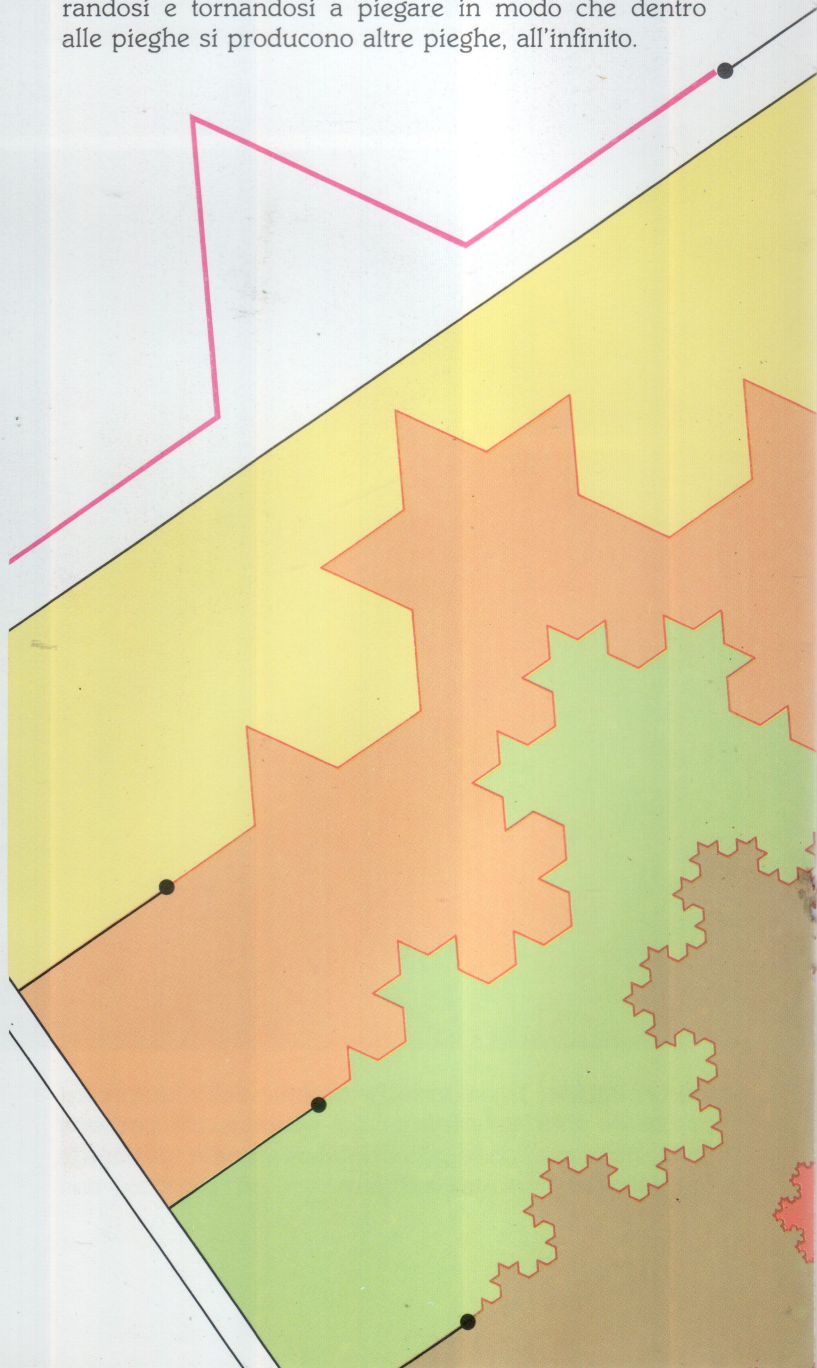
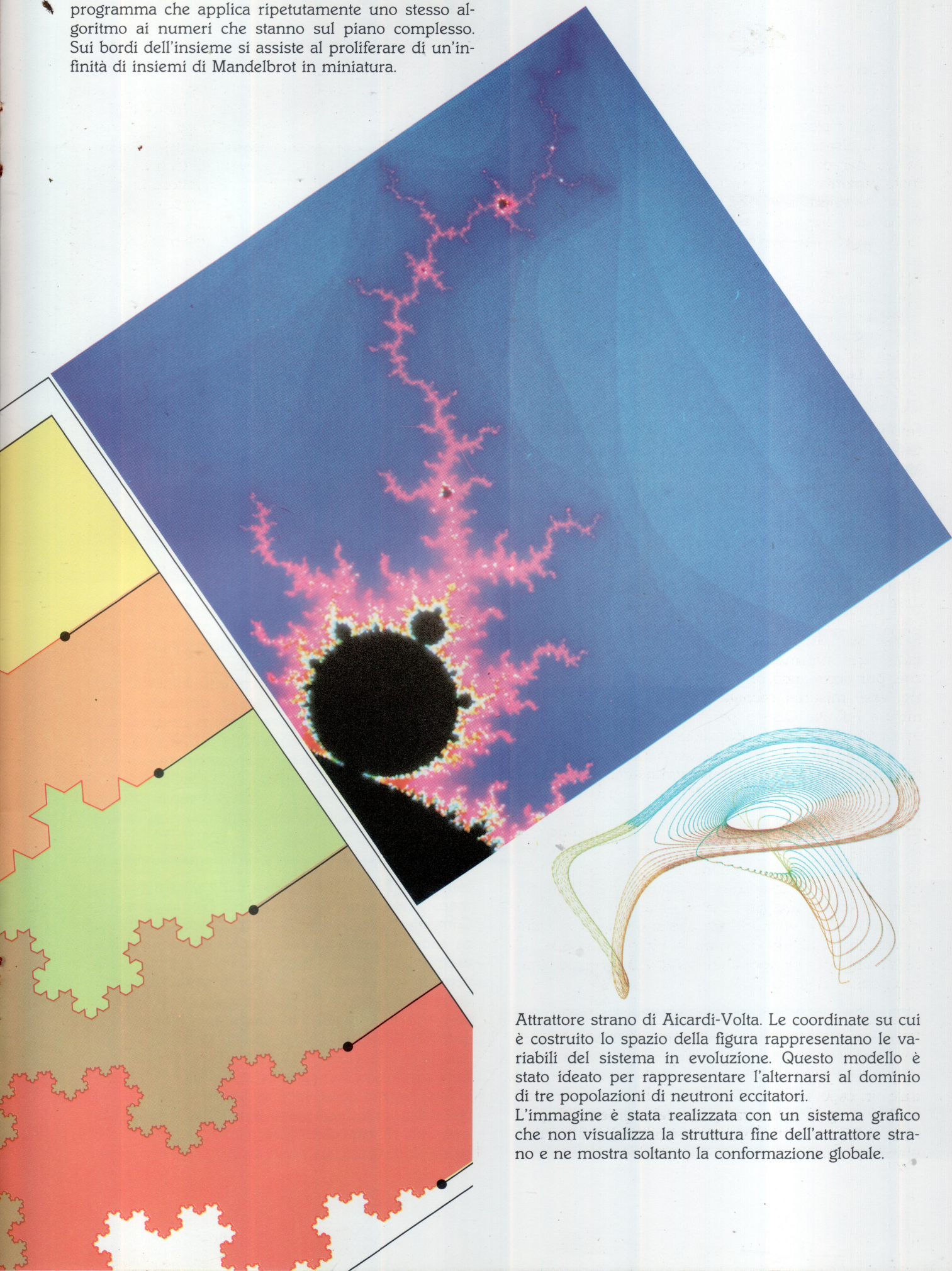
Fin dall'inizio di questo secolo era nato qua e là il presentimento che, tra il caos incontrollato e l'ordine eccessivo della geometria euclidea, dovesse esserci una zona di ordine intermedio. In particolare alcuni matematici (come Peano, Cantor, von Koch, e specialmente Hausdorf) avevano costruito certi oggetti matematici a dimensione non intera (cioè tra il punto e la linea, o tra la linea e il piano) che non risultavano misurabili nella teoria classica, e avevano sviluppato una teoria capace di misurarne il grado di disordine. Ma tutte queste profonde intuizioni restarono relegate al rango di curiosità matematica fino agli anni sessanta, quando cominciarono a evidenziarsi, sopratutto ad opera di Benoit Mandelbrot, le possibilità di applicare queste teorie matematiche ai più disparati campi del sapere scientifico.

Frattale è un termine coniato da Mandelbrot a partire dalla parola latina fractus (=interrotto, spezzettato, irregolare) per riferirsi alla natura frastagliata degli oggetti frattali. Ma l'irregolarità non è l'unica caratteristica di questi enti matematici: un'ulteriore strana proprietà è che, pur occupando una zona ben definita nello spazio, essi, misurati secondo la teoria classica, hanno misura infinita. Questo perchè la struttura frattale è una matrice che si autoriproduce all'infinito in scala sempre più piccola e in qualsiasi porzione di essa comunque infinitesima si trova virtualmente la stessa quantità di dettagli che nel frattale intero. E questa proprietà, detta di autosomiglianza, che fa dei frattali un buon modello di moltissime morfologie naturali. Anche in natura, difatti, la stessa struttura, si riproduce successivamente per quanto non all'infinito su scale sempre più piccole, come ad esempio accade in un tratto di costa selvaggia, che si divide in golfi che si dividono a loro volta in baie che si dividono in insenature che si dividono ancora in piccole spiaggie che continuano pur sempre a conservare una forma simile a quella del golfo.

Generazione della curva triadica di von Koch. La curva si costruisce dividendo un segmento di retta in tre parti uguali e piazzando al posto della terza parte centrale un capo a forma di lambda maiuscolo con i lati anch'essi uguali alla terza parte del segmento. Si procede nello stesso modo con ciascuno dei quattro segmenti ottenuti. E via di seguito, all'infinito.

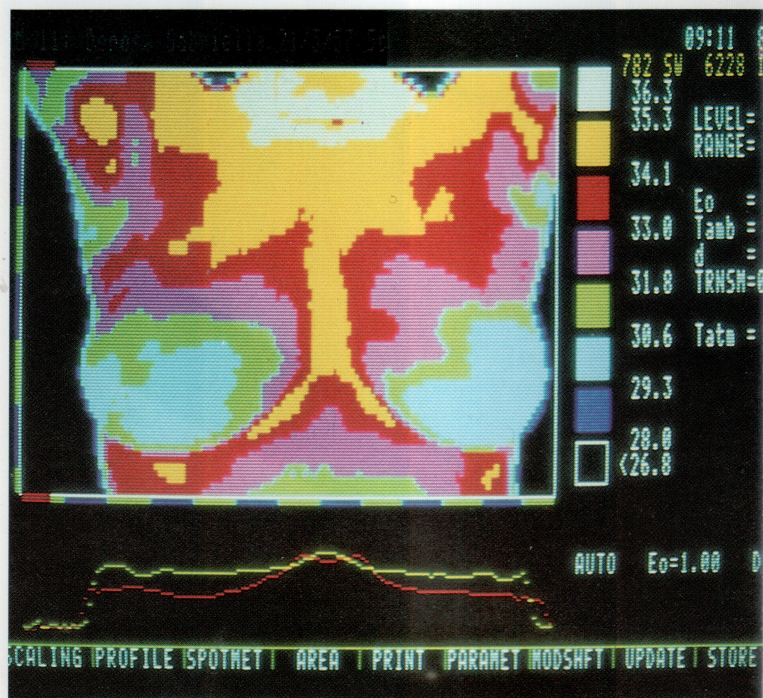
ATTRATTORI STRANI

La forma dell'imprevedibile.

Le soluzioni di un sistema di equazioni differenziali possono descrivere il comportamento di un sistema fisico, rappresentandolo tramite curve in spazi geometrici astratti. Si chiama attrattore il luogo geometrico in cui queste soluzioni si stabilizzano. La fisica classica si occupa di sistemi del tutto prevedibili (come ad esempio il sistema planetario), in cui l'attrattore ha dimensione intera (come un'orbita, per esempio, che, considerata come una linea, ha dimensione uno). Oggi però la fisica si occupa anche di sistemi il cui comportamento non è prevedibile a lungo termine (come per esempio un sistema metereologico). Le soluzioni delle equazioni che modellizzano questi sistemi non si stabilizzano in oggetti a dimensione intera, ma in attrattori che vengono chiamati strani, oggetti matematici che appartengono alla famiglia degli oggetti frattali. Le orbite di questi attrattori, difatti, divergono e convergono con velocità esponenziale, ripiegandosi, stirandosi e tornandosi a piegare in modo che dentro alle pieghe si producono altre pieghe, all'infinito.

Particolare dell'insieme di Mandelbrot: l'estrema frangia del bordo. L'immagine dell'insieme di Mandelbrot si ottiene al calcolatore colorando i pixel (gli elementi di cui è formata l'immagine sullo schermo) con un programma che applica ripetutamente uno stesso algoritmo ai numeri che stanno sul piano complesso. Sui bordi dell'insieme si assiste al proliferare di un'infinità di insiemi di Mandelbrot in miniatura.

Attrattore strano di Aicardi-Volta. Le coordinate su cui è costruito lo spazio della figura rappresentano le variabili del sistema in evoluzione. Questo modello è stato ideato per rappresentare l'alternarsi al dominio di tre popolazioni di neutroni eccitatori.
L'immagine è stata realizzata con un sistema grafico che non visualizza la struttura fine dell'attrattore strano e ne mostra soltanto la conformazione globale.

DIALOGO DIGITALE CON IL CORPO UMANO

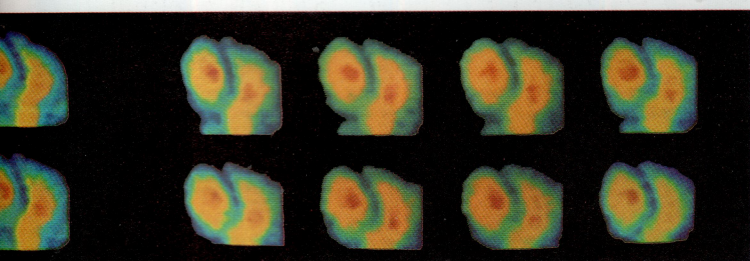
In questi ultimi decenni il rapporto del medico con il corpo del paziente sta subendo una rapida trasformazione anche a causa delle sofisticate tecniche di rappresentazione e di indagine recentemente disponibili. Sia la tomografia assiale computerizzata 3D, sia l'ERNA, o la teletermografia computerizzata (per citare solo le tecniche qui esemplificate), convertendo in segnali elettrici centinaia di migliaia di dati raccolti da appositi rivelatori e successivamente elaborando in immagine queste informazioni, permettono una visione chiara e diretta di situazioni globali e di dettaglio.

Mentre le tecniche più antiquate richiedevano un cospicuo lavoro di interpretazione da parte dello specialista, queste immagini parlano anche al profano, modificando cosi l'immagine collettiva del corpo umano. Ma anche il non profano(il medico, l'anatomo, patologo o il fisiologo), che fino a ieri doveva immaginare l'inerno del corpo vivo per lo più a partire dai reperti anatomici di un corpo morto, può averne, grazie a questi strumenti, una visione sintetica, dinamica e spaziale.

Teletermografia computerizzata di un torace. La tecnica della termografia si basa sulle proprietà di alcuni detectori quantici (per esempio l'antimoniuro di indio) di reagire alla velocità della luce e di trasformare l'irraggiamento termico in una corrente elettrica proporzionale, che viene amplificata e trasmessa ad uno schermo fluoroscopico dove l'oggetto osservato appare in tempo reale. Gli apparecchi più recenti consentono l'interfacciamento con un computer dotato di un particolare soft-ware in grado di immagazzinare i dati termografici ed elaborare immagini molto precise in cui si possono apprezzare visivamente variazioni di O.1 C°.

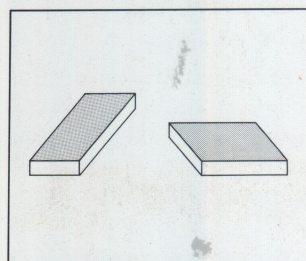
Immagini TAC 3D. Rotazione della ricostruzione tridimensionale di un torace. La TAC (Tomografia Assiale Computerizzata) a differenza della radiografia visualizza tutte le strutture anatomiche (in un cranio, per esempio, oltre alla scatola cranica appaiono anche il cervello con la sostanza grigia, la sostanza bianca e i ventricoli). Il computer permette anche di selezionare certi valori di densità in modo da evidenziare certe sostanze, come nel caso di questo torace di cui appare solo la struttura ossea. La TAC 3D costituisce un ulteriore progresso, fornendo delle immagini molto vicine al loro oggetto come lo si vedrebbe al naturale (anziché delle sezioni sul piano assiale), utili sopratutto da un punto di vista chirurgico, sia per la programmazione dell'intervento, sia per la chirurgia ricostruttiva.

LE IPOTESI PERCETTIVE

Esperimenti in tre computer libri.

La percezione umana è un processo globale in cui l'informazione luminosa che giunge all'acchio dagli oggetti posti nella scena osservata viene interpretata sulla base di ipotesi relative alla forma e alla posizione degli oggetti stessi.
Nell'esperimento proposto dal primo computer-libro si può verificare come già dai primi stadi di elaborazione il sistema visivo proponga ipotesi interpretative. L'oggetto dell'esperimento è la dimostrazione dell'esistenza a livello retinico del punto cieco, quelle zone della retina in cui non sono presenti fotorecettori. Nella esperienza quotidiana questo vero e proprio buco nell'immagine proiettata sulla retina non viene avvertito ai livelli superiori della corteccia. Ciò avviene grazie a un meccanismo di riempimento che rimedia alla mancanza di informazione in corrispondenza del punto cieco. Il meccanismo di riempimento si comporta come un sistema di generazione di ipotesi percettive al fine di completare l'imformazione mancante.
Il secondo computer-libro conduce, attraverso menù gerarchici, una serie di dimostrazioni ed esperimenti che illustrano come il sistema visivo umano organizzi l'informazione visiva e giunga alla percezione della forma e dello spazio. Sono significativi anche gli stimoli che portano a costruire i contorni cognitivi (Kanizsa).
Il secondo computer-libro mostra anche come in certi casi, nelle cosidette illusioni ottiche, l'utilizzazione del contesto nei processi visivi possa portare a valutazioni erronee di elementi dell'immagine.
Il terzo computer-libro è completamente dedicato alle cosidette figure ambigue. Nella percezione delle figure ambigue l'informazione sensoriale raccolta dalla retina e trasmessa al cervello si presta a più interpretazioni distinte e alternative tra loro.
Continuando ad osservare una figura ambigua le interpretazioni alternative si succedono spontaneamente, in maniera apparentemente casuale e indipendentemente dalla volontà dell'osservatore. Il computer-libro, dopo un'introduzione all'ambiguità percettiva, propone al visitatore di effettuare un esperimento sull'alternanza percettiva. Alla fine dell'esperimento l'elaboratore calcola e disegna le distribuzioni teoriche dei tempi di permanenza sull'uno e sull'altro percetto dell'alternanza percettiva, e il visitatore ne può ottenere una copia su carta.

Immagini ERNA. Acquisizione del ciclo cardiaco in sequenza.
Questa immagine è stata fotografata dal monitor del computer che visualizza i dati ricavati con la metodica ERNA e provenienti dalla Gammacamera, presso il servizio di Medicina Nucleare USL di Trieste. Cortesia di S. Lin. La metodica ERNA (Equilibrium Radionuclide Angiocardiography) consiste nell'iniettare endovena piccole dosi di sostanza radioattiva (tecnezio 99m) che si lega ai globuli rossi marcandoli in modo tale che la Gammacamera possa registrare le varie fasi della contrazione ventricolare visualizzando l'afflusso e il deflusso di sangue nel cuore. Ciò permette uno studio e una valutazione della funzionalità cardiaca globale e regionale senza dover invadere il corpo del paziente penetrando con un catetere fino al cuore per iniettarvi un considerevole quantitativo di sostanze di contrasto, come occorreva fare conla tradizionale cardioangiografia radiologica.

Oggetto non identificato. Al nostro sistema visivo sono sufficienti pochi elementi per giungere ad una interpretazione percettiva, come nel caso degli schizzi. Talvolta basta un suggerimento verbale: se viene detto che l'oggetto non identificato della figura pascola nei prati, si percepisce subito la testa di una mucca.

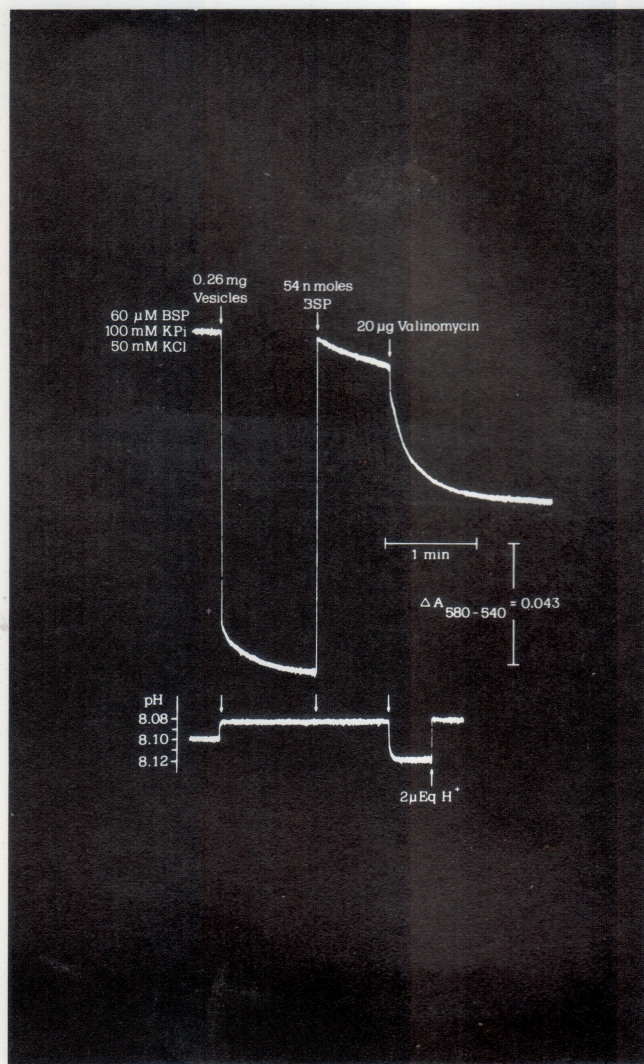
Figura ambigua che può essere interpretata come il volto di un uomo con occhiali, o come un topo.

I due parallelogrammi retinati sono perfettamente uguali, sovrapponibili. Nessun occhio riesce a sottrarsi all'impressione che essi siano fortemente disuguali. Provare a disegnare uno dei due parallelogrammi su carta trasparente e sovrapporlo all'altro.

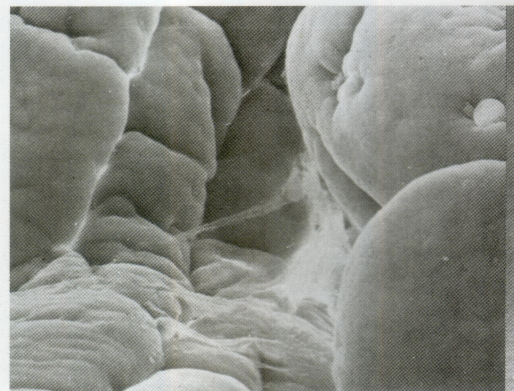
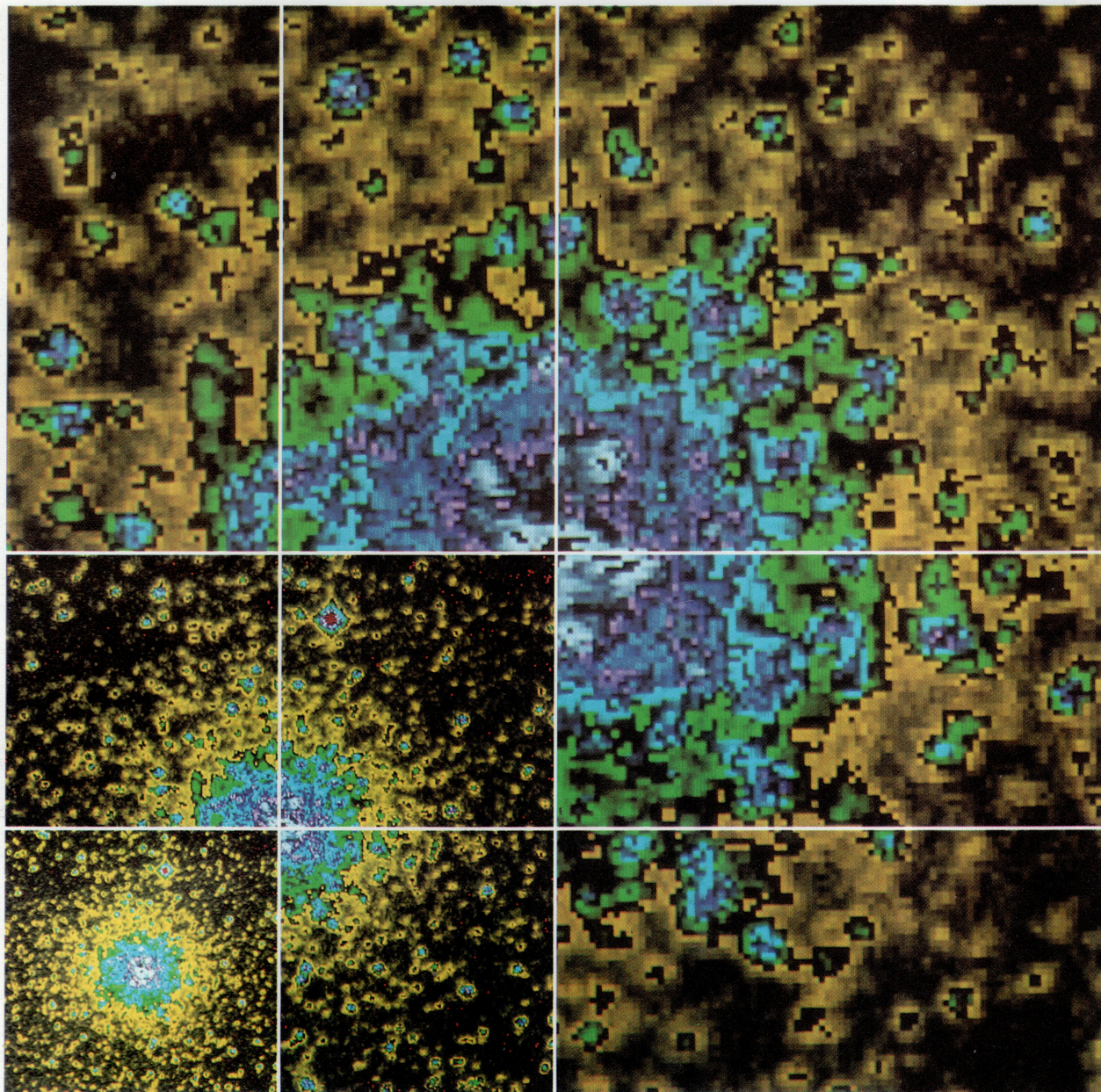
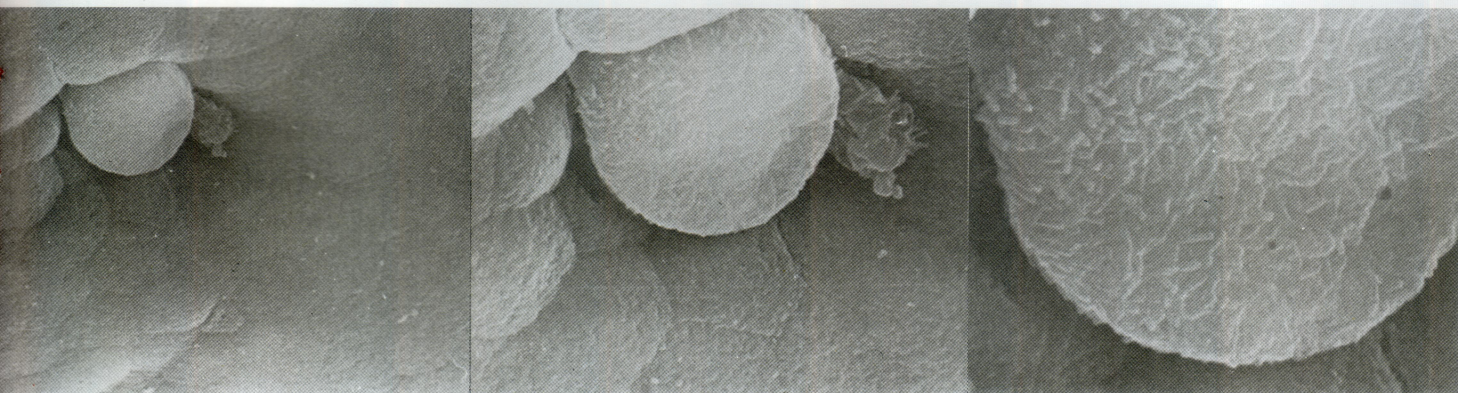
I CALCHI

Figure per guardare.

A questa categoria di immagini (la prima della trilogia presentata in questa sezione) appartengono le fotografie, le radiografie, le ecografie, le scintigrafie, le termografie, i sismogrammi, le spettroscopie e in generale tutte le immagini che sono calchi (impronte, tracce) di oggetti reali.

I calchi di uso scientifico non hanno l'unico scopo di fissare l'impronta di un dato oggetto, ma sono ottenuti con strumenti che permettono di osservare cose che l'occhio naturalmente non vedrebbe e servono a rendere visibili distribuzioni di temperatura (termografia), densità (radiografia), cariche elettriche (microscopia elettronica), ecc..

A differenza di altri tipi di figure, queste immagini vengono trattate (ingrandite, filtrate, accumulate) per ottenere nuove immagini ed avere nuove informazioni.

Spettrofotometria a doppia lunghezza d'onda. Misura del movimento della bromosulfonstaleina attraverso la parete di vescicole derivate dalla membrana cellulare di epatociti. Più precisamente in questo esperimento è stato seguito lo spostamento della bromosulfonstaleina (un colorante che cambia spettro di assorbimento quando entra in compartimento cellulare più acido) nelle vescicole di membrana di fegato di un ratto. Da un lavoro di G. Baldini, S. Passamonti, G.C. Lunazzi, C. Tribelli e G.L. Sottocasa (Dipartimento di Biochimica Biofisica e Chimica delle Macromolecole e Istituto di Patologia Speciale Medica, Università di Trieste) apparso su Acta Biochimica et Biophysica, 1986.
Cortesia di G. L. Sottocasa.

Fotografia al microscopio elettronico di villi intestinali; presenza di muco intestinale, ingrandimento al microscopio (x160). Sucessivo ingrandimento (x 640): sulla destra appare un enterocita morto in via etrusione. Successivo ingrandimento (x 2.500): inquadratura dell'entrocita morto. Successivo ingrandimento (fino a x 5.000): si vedono i microvilli dell'enterocita morto. Le immagini al microscopio elettronico si ottengono ricoprendo l'oggetto di una pellicola metallica (oro, oro-palladio) e colpendolo con un fascio di elettroni: la pellicola metallica colpita dagli elettroni riflette sullo schermo l'immagine elettronica dell'oggetto nei suoi minimi dettagli.

Le figure mostrano a diversi ingrandimenti le immagini a falsi colori dell'ammasso stellare globulare L85 della Piccola Nube di Magellano. Formato di 400x400 pixel di 10 micron x 10 micron sull'originale fotografico. Immagine elaborata da E. Kontizas, M. Kontizas, L. Rusconi, G. Sedmak e R. Smareglia al centro di analisi di immagini ASTRONET all'Osservatorio Astronomico di Trieste.

A questa seconda categoria appartengono tutti i tipi di mappe (mappe celesti, carte geografiche, mappe cromosomiche...) ma anche molti disegni scientifici (sia foto ridisegnate che schemi esplicativi), certi grafici e tutti i modelli sperimentali. In generale tutte le carte che si riferiscono a un oggetto in qualche modo localizzato nello spazio e nel tempo.
Le mappe risultano dallo studio di un certo oggetto e ne forniscono una nuova descrizione. Tra tutti gli aspetti dell'oggetto che si vuole rappresentare, queste immagini ne selezionano alcuni mettendone in evidenza le reciproche relazioni.
A differenza del precedente tipo di immagini queste figure non forniscono nuovi dati, ma anzi si costruiscono solo dopo aver raccolto tutti i dati necessari.

LE MAPPE

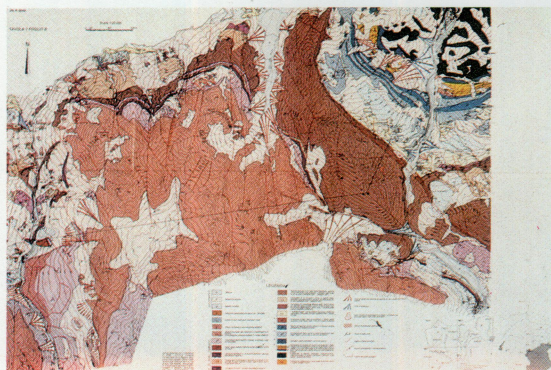
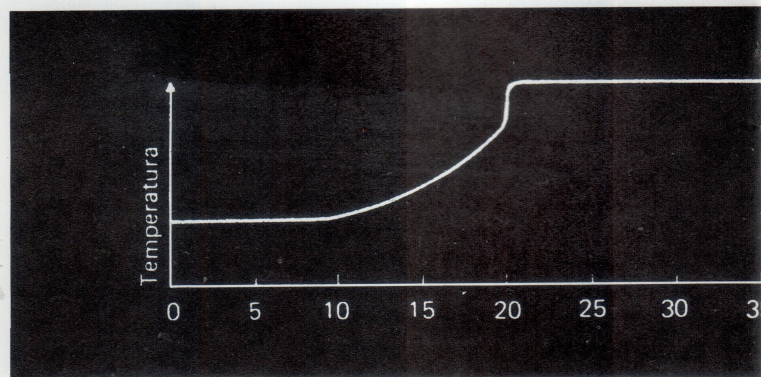
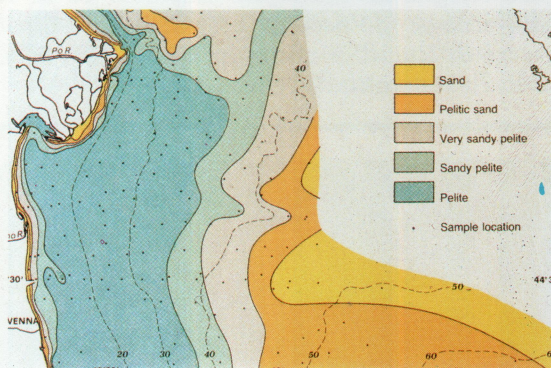
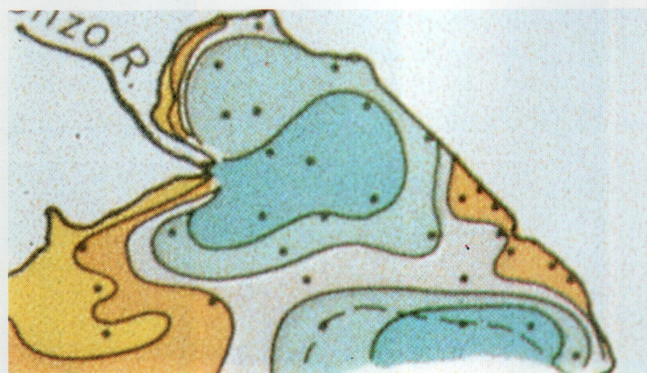
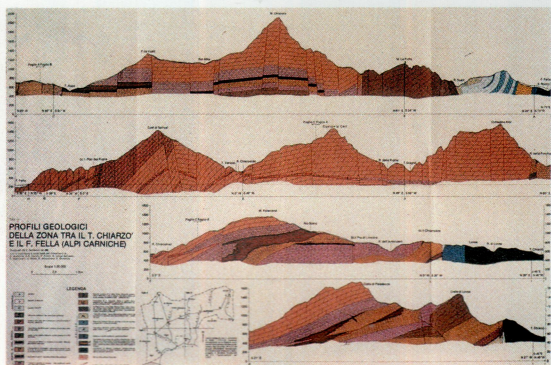
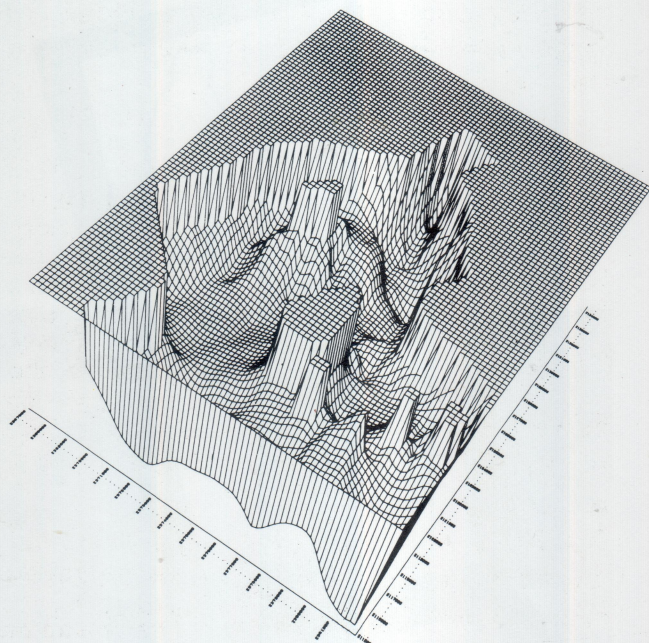
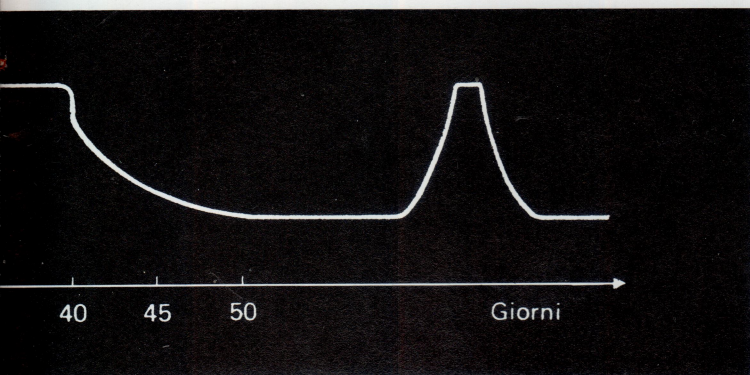
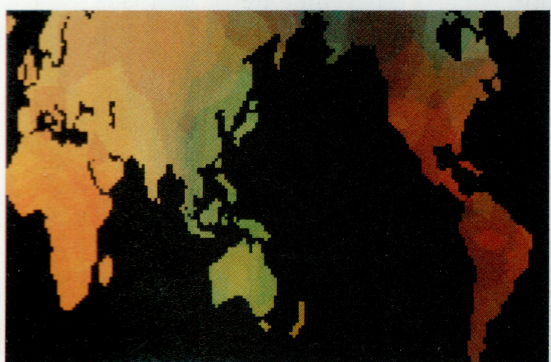
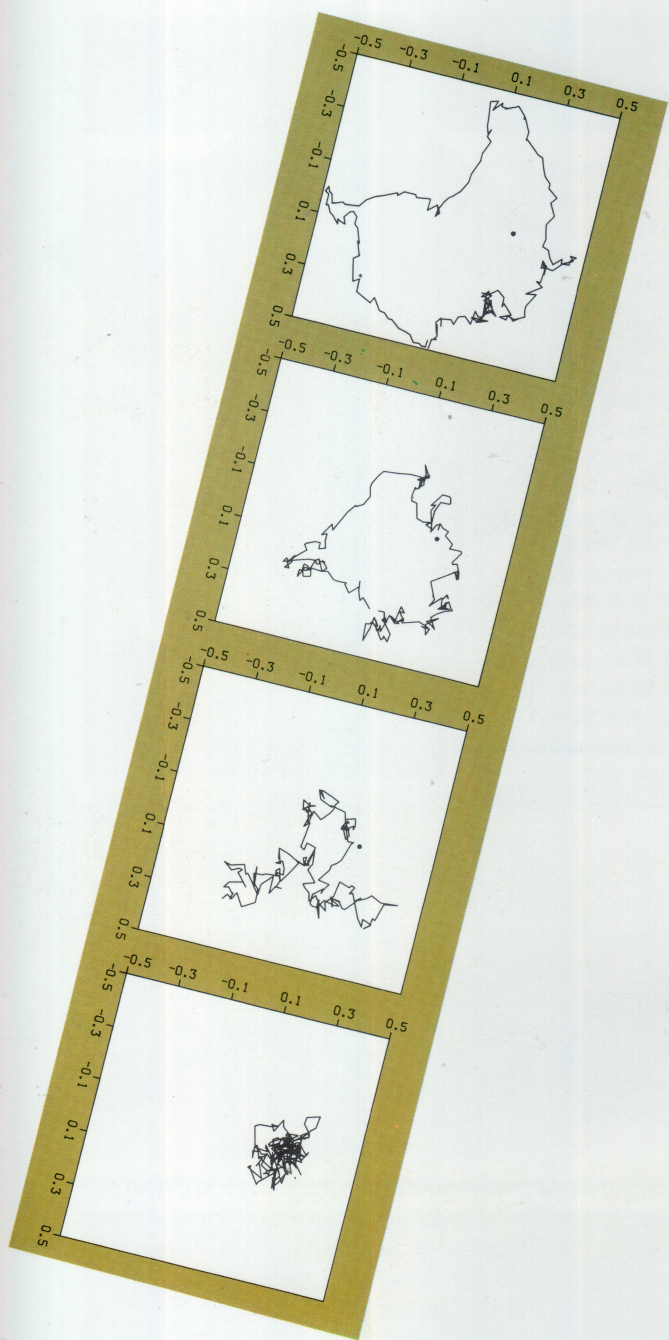
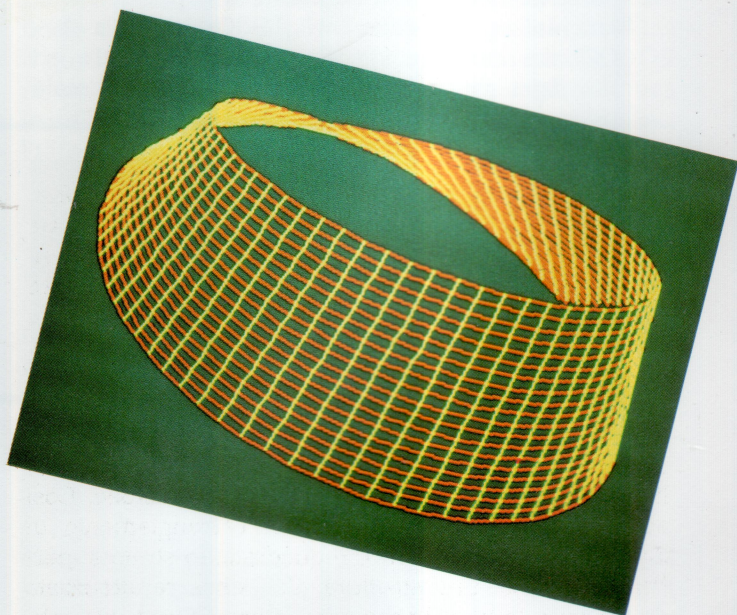
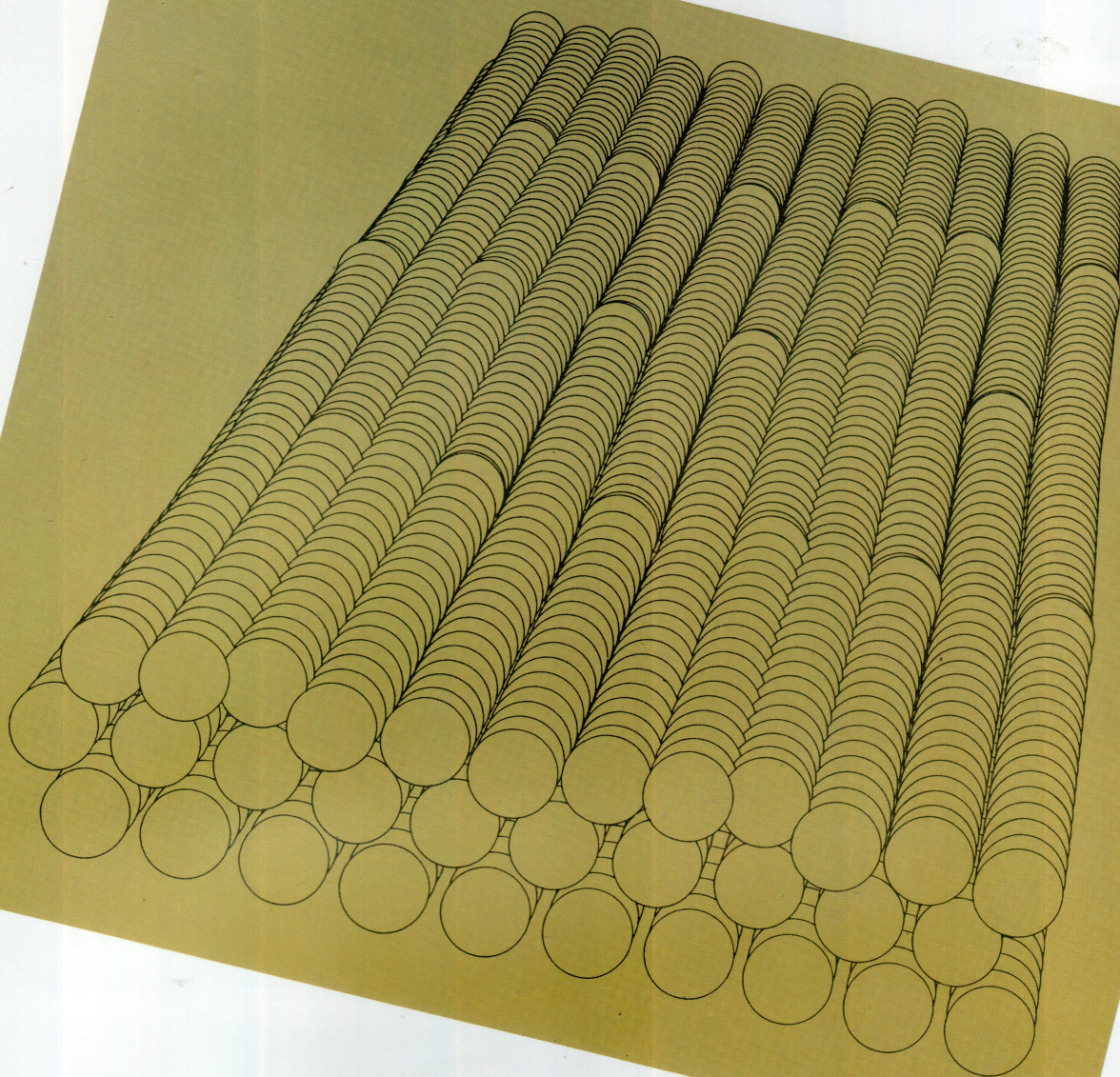
Figure per descrivere.

Sezioni geologiche realizzate nella stessa area della carta geologica di dettaglio in fig. 9. Le sezioni geologiche sono carte massimamente interpretative. Forniscono indicazioni, lungo tagli ideali, sull'assetto geologico del sottosuolo. Nella figura, dai colori e dall'andamento delle formazioni rocciose, risulta evidente un settore strutturalmente più complesso nelle proporzioni a destra, rispetto a situazioni relativente più tranquille nelle porzioni al centro e a sinistra. Si comprende bene l'utilità di tali elaborati nel caso, ad esempio, di proggettazione di gallerie. Cortesia dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste.

Carta sedimentologica dei fondali dell'Adriatico settentrionale (Brambati et al., Bollettino di Oceanologia Teorica e Applicata, ottobre 1983). I toni blu rappresentano la dispersione in mare degli attuali contributi fluviali trasportati in sospensioni (fanghi), i toni gialli rappresentano la distribuzione degli antichi depositi continentali (prevalentemente sabbie) che caratterizzavano la paleo-pianura padana (quando il livello del mare era più basso dell'attuale). Cortesia dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste.

Rappresentazione tridimensionale del basamento pre-quaternario dell'Alta Pianura Friulana (Campo di Osoppo: Gemona, Buia, le zone più colpite dal terremoto del 1976). Quest'immagine è il frutto di una ricerca condotta nel 1980 da G. Berlasso (Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste).

Grafico dell'evoluzione tipica della pertosse.

Carta geologica in dettaglio (Carta geologica della zona tra il torrente Chiarzò e il Fiume Fella - Alpi Carniche di Bianchin et. al., edita nel 1980, in scala 1 : 20.000). Le carte geologiche di dettaglio, oltre ad aver un significato geologico intrinseco data la scala adottata, possono venir utilizzate per scopi applicativi (determinazione della stabilità dei versanti, trafori autostradali e ferroviari, ricerca mineraria, gestione del territorio). Cortesia dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste.

Mappa sintetica tricromica della distribuzione geografica delle frequenze geniche nel mondo. Questa mappa è il risultato della sovrapposizione delle tre componenti principali dei geni esaminati, ciascuna delle quali è rappresentata da un colore diverso: verde per la prima, blu per la seconda e rosso per la terza. I geni esaminati appartengono ai sistemi dei gruppi sanguigni ABO, Rh, MN, Lewis, Duffy; agli isoenzimi Hp, fosfatasi, fosfoglucomutasi; al sistema di istocompatibilità HLA. L'immagine sintetica a colori restituisce la maggior parte della variabilità di questi geni. Da A. Piazza, P. Menozzi e L. Cavalli-Sforza, Population Biology, Proceedings of National Accademy of Science (USA), 1981.

I MODELLI

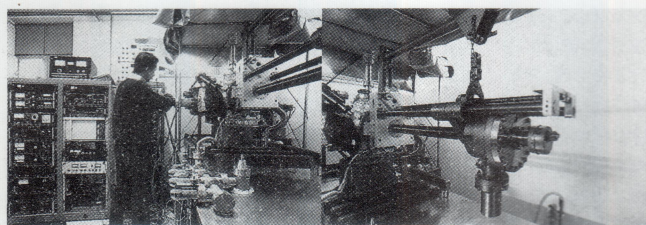
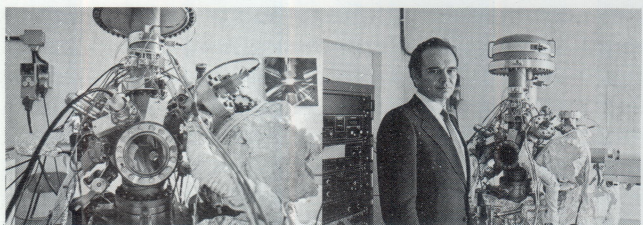
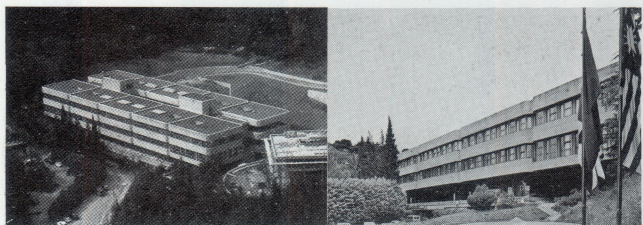
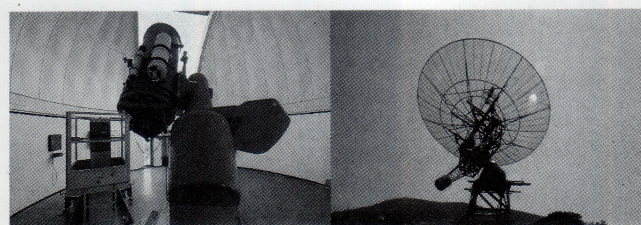
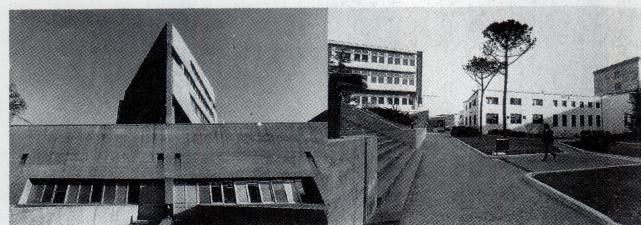
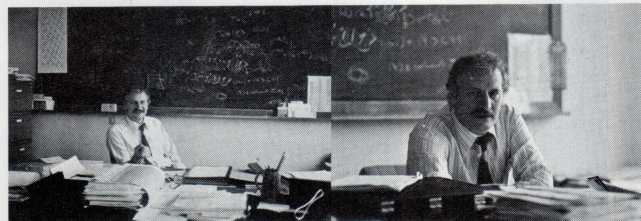
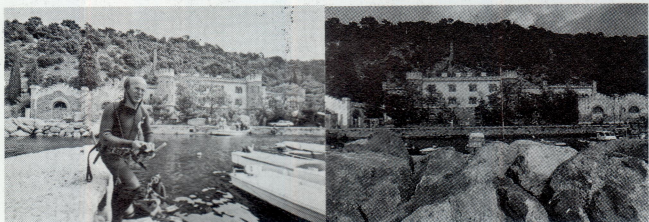
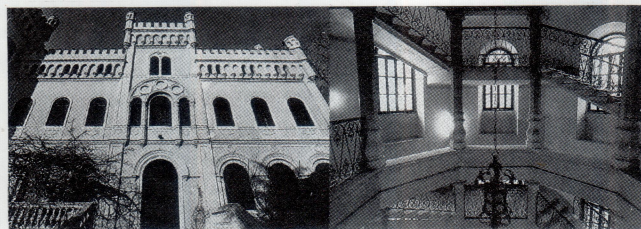
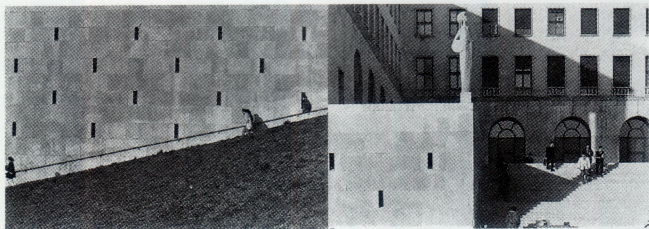
Figure per pensare.

Serie di figure che simula l'evoluzione di un elettrone da uno stato delocalizzato (a) ad uno stato localizzato (d). Questo processo viene indotto dal liquido (Kcl fuso) in cui l'elettrone è disciolto. Gli atomi del liquido non vengono rappresentati per non rendere illeggibile la figura. A causa dell'indeterminazione quantistica non viene attribuita all'elettrone una sola posizione ma una successione di posizioni che unite fra loro danno luogo a dei disegni altamente irregolari (cammini integrali di Feynman).
Da un punto di vista più astratto questi cammini raffigurano l'evoluzione nel tempo immaginario dell'elettrone. Da un articolo di M. Parrinello (Dipartimento di Fisica Teorica, Università di Trieste) e A. Rahman (Materials Scienze and Tecnology Division, ARgonne National Laboratory, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois) apparso in Journal of Chemistry and Physics, vol. 80, n. 2, gennaio 1984.

A questa terza categoria appartengono tutti i modelli teorici, le simulazioni di processi o di sistemi fisici, le figure geometriche e topologiche. Queste figure, pur non avendo un referente esterno, non sono il frutto della libera fantasia, ma vengono prodotte seguendo rigorosamente leggi e regole scientifiche.
Le figure di questo tipo, a differenza di quelle degli altri due, hanno un oggetto solo ipotetico. Esse forniscono delle rappresentazioni al pensiero astratto e lo giudano verso nuove scoperte.

Il nastro di Moebius. Immagine realizzata da A.M. Carminelli Gregori e M. Policastro presso il Centro di Calcolo dell'Università di Trieste.

La figura rappresenta il risultato della simulazione al computer di una superficie di un cristallo d'oro. In un cristallo perfetto, i piani atomici fra loro paralleli hanno tutti la stessa struttura ordinata. Tuttavia nell'oro (cosi come in altri metalli come l'iridio o il platino) lo strato atomico superficiale ha una struttura diversa da quella degli strati atomici sottostanti: questo fenomeno viene chiamato ricostruzione della superficie. Ciò è dovuto alla presenza di forze di origine elettronica che tendono a favorire la formazione di uno strato superficiale con la più alta densità atomica possibile. Cosi su una superficie di oro in cui l'arrangiamento di base degli atomi è a reticolo quadrato, lo strato superficiale acquista una struttura più densa caratterizzata da un reticolo pressapoco triangolare. Questi due reticoli differenti e sovrapposti danno luogo alle ondulazioni e corrugazioni della superficie visibili in figura. La struttura rappresentata è stata ottenuta partendo da un modello teorico per le interazioni fra atomi di oro, e ricercando, con l'uso del computer, l'arrangiamento degli atomi in cui l'energia è minima. La struttura ottenuta corrisponde con buona approssimazione a quella osservata sperimantalmente (F. Ercolessi, M. Perrinello e E.Tosatti, SISSA, Trieste). Il calcolo delle interazioni tra questi atomi a partire dalle leggi della meccanica quantistica, per quanto possibile in linea di principio, in pratica non è fattibile a causa del grande numero di corpi in gioco. La simulazione al computer costituisce per il fisico un banco di prova: assegnata una legge di interazione, il computer muove gli atomi; dalle traiettorie cosi ottenute, effettuando opportune operazioni di media statistica, si può risalire alle caratteristiche termodinamiche su scala macroscopica del materiale simulato, che possono essere confrontate con quelle del materiale reale. La simulazione permette cosi l'interpretazione di risultati sperimentali poco chiari e fornisce un punto di collegamento tra teoria ed esperimento.

LA CITTÀ DELLA SCIENZA

ALLESTIMENTO

Prof. arch. Gaddo Morpurgo, Arch. Giovanni Andrea Panizon

0. Computer-libro con la pianta della mostra - Pianta di Giovanni Andrea Panizon realizzazione Paola Rodari e Giuliano Comelli.

CIELO E TERRA
La dimensione planetaria

1. *Video:* «La terra vista dal cielo, ovverosia la firma spettrale», regia di Gianni Toti, consulenza scientifica di Antonio Brambati (Università di Trieste), Aldo Grazioli (Regione Friuli-Venezia Giulia), Sergio Milo (Università di Trieste).
1. «La ricerca dell'anticoda immaginata nella chioma dell'astro cometa», regia di Gianni Toti, consulenza scientifica di Giorgio Sedmak (Osservatorio Astronomico di Trieste).
1. «L'arnia cosmica», regia di Gianni Toti, consulenza scientifica di Margherita Hack (Dipartimento di Astronomia dell'Università di Trieste).
2. «I raggi cosmici», regia di Gianni Toti, consulenza scientifica di Edoardo Castelli (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare sezione di Trieste). Produzione dei video: VIDEOEST per la ISSA-AISA, direttore di produzione Gianfranco Rados.
3. *Odoscopio:* rivelatore di raggi cosmici ideato da Antonio Gozzini (Università di Pisa) e Marcello Coversi (Università di Roma), realizzato a cura di Edoardo Castelli (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, sezione di Trieste).
4. *Pannello:* «Nascita e morte delle stelle».

DENTRO L'ATOMO
L'unificazione delle forze

5. *Video:* «Conversazione sui massimi sistemi», regia di Gianni Toti, con Paolo Budinich (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste), Abdus Salam (Centro Internazionale di Fisica Teorica, Trieste), Dennis W. Sciama (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste), Edward Witten (Princeton University), produzione della VIDEOEST per la ISSA-AISA di Trieste, direttore di produzione Gianfranco Rados.
6. *Pannello:* «Carta storica dell'Unificazione delle forze naturali», da un'idea di Paolo Budinich, grafica di Tassinari e Vetta ass.
7. *Video filmato:* «La luce pesante», di Giorgio Salvini del CERN di Ginevra.
8. *Pannelli:* immagini di traiettorie di particelle provenienti dal CERN di Ginevra. Detecma- poltrone matematiche ideate da Tullio Regge (Università di Torino).

ORDINE E CAOS
Alla ricerca di una geometria tra l'ordine e il caos.

9. *Video:* «Ordine, caos e phaos», regia di Gianni Toti, materiale scientifico di Antonio Borsellino (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste), produzione della VIDEOEST per la ISSA-AISA di Trieste, direttore di produzione Gianfranco Rados.
10. *Computer-libri:* «Generazione di oggetti frattali», ideazione, realizzazione e software di Franca Aicardi, Antonio Borsellino e Marco Fulle (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste).
11. *Computer-libro:* «Gli automi cellulari», ideazione di Tommaso Toffoli (MIT, Cambridge, Mass.) e realizzazione di Vincenzo D'Andrea (Università di Trento e Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste).
12. *Pannelli:* «Configurazioni frattali», immagini di Benoît Mandelbrot (Harvard University), Franca Aicardi (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste), e Daniele Marini (EIDOS S.p.a., Milano).
13. «Metamorfosi di Poliedri» di Lucio Saffaro, realizzati dal centro di Calcolo dell'ENEA di Bologna in collaborazione con Arnaldo Chiarini, Fabio Frattini, ed Egildo Cavazzini.

DENTRO L'UOMO
Meccanismi psicologici e strutture fisiologiche nel corpo umano.

13. *Video-installazione:* «Dialogo digitale con il corpo umano», regia di Gianni Toti, consulenza scientifica di Ludovico Dalla Palma (Istituto di Radiologia dell'Università di Trieste), materiali dell'Istituto di Radiologia dell'Università di Trieste, produzione della VIDEOEST per la ISSA-AISA di Trieste, direttore di produzione Gianfranco Rados.

Computer-libri:

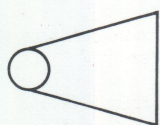
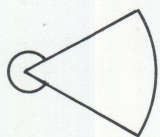
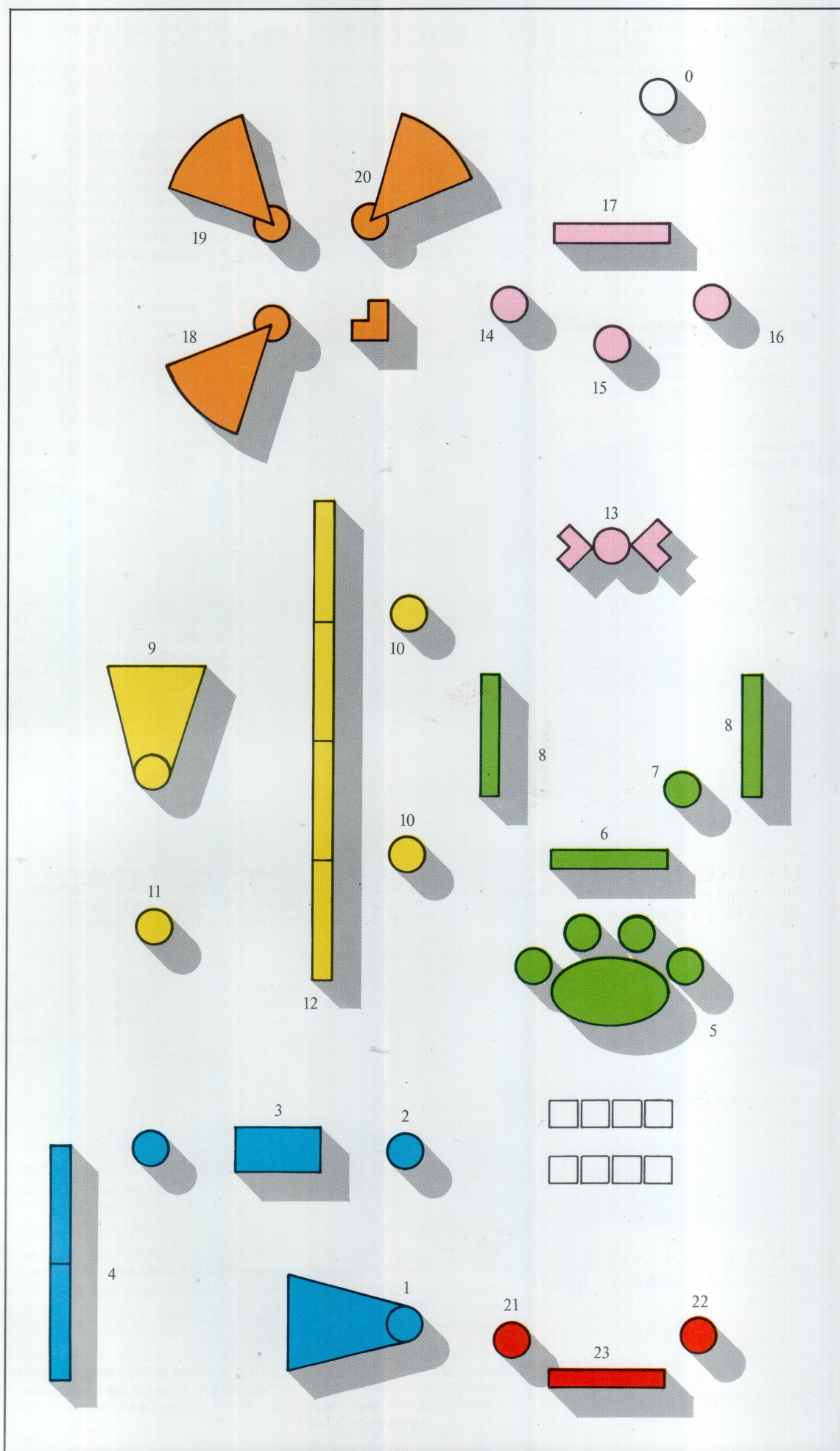
14. «Le vie della visione»
15. «Le illusioni percettive»
16. «Percezione delle figure ambigue»
    di Antonio Borsellino (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati di Trieste), Franco Carlini e Francesco Masulli (Università di Genova).
17. *Pannello:* «Le vie della percezione», da un'idea di Antonio Borsellino (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati, Trieste), grafica di Tassinari e Vetta ass.

L'IMMAGINE E LA CARTA
Le figure della scienza: specchi o modelli del loro oggetto.

Computer-libri con soffietto:

18. «Figure per guardare»
19. «Figure per descrivere»
20. «Figure per pensare»
    ideazione di Nicoletta Brunner Tamburini, Ettore Panizon e Paola Rodari, realizzazione Paola Rodari (editing) e Giuliano Comelli (grafica), Software di Luciano Lampi, Fabio Pasian, Mauro Pucillo, Paolo Santin e Giorgio Sedmak (Osservatorio Astronomico di Trieste).

LA SCIENZA IN CITTÀ
Trieste città della scienza

21. *Computer-libri:* «La scienza in città», ideazione di Nicoletta Brunner Tamburini, Ettore Panizont e Paola Rodari, realizzazione Paola Rodari (editing) e Giuliano Comelli (grafica). Software di Luciano Lampi, Fabio Pasian, Mauro Pucillo, Paolo Santin e Giorgio Sedmak (Osservatorio Astronomico di Trieste).
22. «Area: dove Trieste progetta il futuro», ideazione di Fulvio Belsasso e Paola Rodari, realizzazione Paola Rodari (editing) e Giuliano Comelli (grafica); software di Luciano Lampi, Fabio Pasian, Mauro Pucillo, Paolo Santin, Giorgio Sedmak (Osservatorio Astronomico di Trieste).
22. «Università di Trieste: ritratto di un ateneo internazionale» a cura di Paola Pagnini (Università di Trieste), realizzazione Paola Rodari (editing) e Giuliano Comelli (grafica), software di Luciano Lampi, Fabio Pasian, Mauro Pucillo, Paolo Santin e Giorgio Sedmak (Osservatorio Astronomico di Trieste).
23. *Pannello:* «La scienza in città: distribuzione delle istituzioni scientifiche sul territorio della città di Trieste», grafica di Tassinari e Vetta ass.

LABORATORIO
DELL'IMMAGINARIO SCIENTIFICO
dalla percezione alla Teoria attraverso
le immagini della scienza

Abdus Salam
Presidente della Fondazione Internazionale Trieste per il Progresso e la Libertà delle Scienze

Giampaolo de Ferra
Presidente dell'Associazione Interculturale per la Scienza e l'Arte

presentano «l'Immaginario Scientifico», realizzato dall'AISA/ISSA alla Citè des Sciences et de l'Industrie di Parigi nell'ambito della rassegna «Trouver Trieste» nel 1986, riallestito per la Grande Fiera di Milano e presente a Napoli nel 1987 alla rassegna Futuro Remoto dalla mostra d'Oltremare.

Consiglio Scientifico
Antonio Borsellino
Stig Lundqvist
Benoît Mandelbrot
Tullio Regge
Carlo Rubbia
Abdus Salam
Dennis W. Sciama
Luca Cavalli Sforza

Comitato Scientifico
Antonio Borsellino
Paolo Budinich
Edoardo Castelli
Ludovico Dalla Palma
Margherita Hack
Roberto Pozzi
Giorgio Sedmak

Commissione Ordinatrice
Antonio Borsellino
Paolo Budinich
Nicoletta Brunner Tamburini
Ettore Panizon
Paola Rodari

Ideazione e realizzazione dell'esposizione

I.S.S.A. / A.I.S.A.
Associazione Interculturale
per la scienza e l'arte

Paolo Budinich
Commissario Scientifico

Nicoletta Brunner Tamburini
Coordinatore Scientifico

I.C.T.P. - Centro internazionale di Fisica Teorica
Consorzio per l'Incremento degli Studi e delle Ricerche
I.N.F.N. - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Istituto Talassografico Vercelli
Laboratorio di Biologia Marina
Ospedale Infantile Burlo Garofolo
O.A.T. - Osservatorio Astronomico di Trieste
O.G.S. - Osservatorio Geofisico Sperimentale di Trieste
S.I.S.S.A. - Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati
Università di Trieste
Area di Ricerca
Centro Internazionale di Ingegneria Genetica e Biotecnologia
Collaborazione Scientifica

Gaddo Morpurgo
Giovanni Andrea Panizon
Ideazione progetto e coordinamento dell'immagine

Gianni Toti
Ideazione audiovisivi

Gianfranco Rados
Coordinatore esecutivo

Luigi Stasi
Sergio Stabile
Alessandro Saliva
Amministrazione

Lidia Bogo
Rosanna Sain
Nicoletta Nicolini Grandi
Segreteria

Giuliano Comelli
Studio Tassinari/Vetta
Grafica

Studio Effekappa
Fotografia

Computer Libri

«L'immagine e la carta»
«La scienza in città»
Ettore Panizon
Paola Rodari
Nicoletta Brunner Tamburini
Ideazione

Giuliano Comelli
Paola Rodari
Grafica

Giuliano Comelli
Disegni originali

«Dove Trieste progetta il futuro»
Fulvio Belsasso
Paola Rodari
Giuliano Comelli
ideazione e realizzazione

«Le vie della visione»
«Le illusioni percettive»
«La percezione delle forme ambigue»
Antonio Borsellino
Franco Carlini
Francesco Masulli
Ideazione e realizzazione

«Generazione di oggetti frattali»
Franca Aicardi
Antonio Borsellino
Marco Fulle
Ideazione e realizzazione

«Gli automi cellulari»
Tommaso Toffoli
Vincenzo D'Andrea
Ideazione e realizzazione

Luciano Lampi
Fabio Pasian
Mauro Pucillo
Paolo Santin
Giorgio Sedmak
Software

Video-films

Gianni Toti
Regia-elaborazione elettronica

«L'arnia cosmica»
Margherita Hack
Consulente scientifico

«Dialogo digitale con il corpo umano»
Ludovico Dalla Palma
Consulente scientifico

«Alla ricerca dell'anti coda (nella chioma dell'astro cometa)»
Giorgio Sedmak
Consulente scientifico

«Conversazione sui massimi sistemi»
Paolo Budinich
Abdus Salam
Dennis W. Sciama
Edward Witten

«La terra vista dal cielo»
Da materiale scientifico fornito da:
Antonio Brambati
Aldo Grazioli
Sergio Milo

«Raggi cosmici e odoscopio»
Edoardo Castelli
Consulente scientifico

«Ordine e caos e phaos»
da materiale scientifico fornito da:
Antonio Borsellino

Produzione Videoest - Trieste

Gianfranco Rados
Direttore di produzione

La parte espositiva del Laboratorio dell'Immaginario Scientifico per un museo della Scienza a Trieste è stata realizzata con il patrocinio del Comune di Trieste, del Fondo Trieste, della Regione Friuli-Venezia Giulia, e con il concorso di:

Ministero della Pubblica Istruzione

Ministero per il Coordinamento della Ricerca Scientifica e Tecnologica

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Cassa di Risparmio di Trieste

Centro Internazionale di Fisica Teorica IAEA-UNESCO

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati

Università degli Studi di Trieste

Consorzio per l'Area di Ricerca Scientifica e Tecnologica nella Provincia di Trieste

Fondazione Internazionale Trieste per il Progresso e la Libertà delle Scienze

Associazione Interculturale per la Scienza e l'Arte